

**ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
BIOMEDICA**

TITOLO DELLA TESI

**MODELLI DI MEMORIA SEMANTICA E LESSICALE:
STUDIO DEI MECCANISMI NEURALI DI
APPRENDIMENTO E FORMAZIONE DI CATEGORIE**

**Tesi in
Sistemi Neurali LM**

Relatore

Prof. Mauro Ursino

Presentata da

Immacolata Zambri

Correlatrice

Dott.essa Eleonora Catricalà

Sessione II

Anno accademico 2014/2015

Ai miei genitori.

INDICE

INTRODUZIONE.....	6
--------------------------	----------

Capitolo1

1.CONCETTO DI MEMORIA	9
1.1 Memoria semantica e linguaggio	12
1.2 Modelli della memoria semantica	15
1.2.1 Modelli connessionisti	17
1.3 Priming	20
1.4 Concetti e processi di categorizzazione	22
1.5 Apprendimento Hebbiano	25

Capitolo2

2.INTRODUZIONE AL MODELLO	29
2.1 Modello bidimensionale	29
2.2Modello unidimensionale	31
2.2.1 Descrizione matematica	32
2.2.2 Ingresso rete semantica	33
2.2.3 Ingresso rete lessicale	34
2.3 ADDESTRAMENTO RETE	
2.3.1 Equazioni del modello	36
2.3.2 Assegnazione parametri – apprendimento rete semantica	39
2.3.3 Assegnazione parametri – apprendimento rete lessicale	41
2.4 apprendimento con soglia variabile	43

Capitolo3

3.METODO	
-----------------	--

3.1 Scelta dei dati	45
3.2 Fasi di addestramento	47

Capitolo4

4. PRIMO MODELLO

4.1 Tassonomia primo modello	50
4.1.1 Parametri	53
4.2 Risultati - Soglia fissa	54
4.2.1 Addestramento semantico – fase 1	54
4.2.2 Addestramento lessicale – fase 2	64
4.2.3 Simulazioni e limiti	73
4.2.4 Studio delle sinapsi $W_{j,i}^{LS}$	76
4.2.4.1 Sinapsi da una proprietà saliente a un uccello	78
4.2.4.2 Sinapsi da una proprietà comune saliente a un uccello	81
4.3 Risultati – Soglia variabile	83
4.3.1 Addestramento semantico – fase 1	83
4.3.2 Addestramento lessicale – fase 2	86
4.3.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti	94
4.3.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole	96

Capitolo5

5. SECONDO MODELLO

5.1 Tassonomia secondo modello	97
5.2 Risultati – Soglia fissa	100
5.2.1 Addestramento semantico – fase 1	100
5.2.2 Addestramento lessicale – fase 2	104
5.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti	113
5.2.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole	115
5.3 Risultati – Soglia variabile	116

5.3.1 Addestramento semantico – fase 1	116
5.3.2 Addestramento lessicale – fase 2.....	119
5.3.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti	121
5.3.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole	122

Capitolo6

6. MODELLI CON OGGETTI

6.1 Tassonomia primo modello_oggetti	124
6.1.1 Parametri	127
6.2 Risultati	128
6.2.1 Addestramento semantico – fase 1	128
6.2.2 Addestramento lessicale – fase 2.....	132
6.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti	137
6.2.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole	138
6.3 Tassonomia secondo modello_oggetti	140
6.4 Risultati	143
6.4.1 Addestramento semantico – fase 1	143
6.4.2 Addestramento lessicale – fase 2.....	148
6.4.3 Simulazioni	153

CONCLUSIONE.....	155
-------------------------	------------

RINGRAZIAMENTI.....	157
----------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.....	158
--------------------------	------------

INTRODUZIONE

La memoria semantica, e la sua stretta relazione con il linguaggio, sono stati oggetto di studi da molti anni nell'ambito delle neuroscienze cognitive: tali studi hanno condotto alla formulazione di diverse teorie, volte a comprendere la sua organizzazione, le unità neurali coinvolte e i meccanismi di apprendimento. L'utilizzo di modelli teorici (qualitativi o matematici) per lo studio della memoria semantica gioca un ruolo importante in tale ambito. È proprio grazie a questi modelli che si può cercare di comprendere come la conoscenza del significato di parole e concetti sia immagazzinata nel sistema nervoso e successivamente utilizzata.

In questa tesi viene utilizzato un modello neurale del sistema semantico-lessicale, che sfrutta la regola di Hebb per addestrare le sinapsi. Il principio alla base di tale modello è che la semantica di un concetto è descritta attraverso una collezione di proprietà, che sintetizzano la percezione del concetto nelle diverse regioni corticali. Gli aspetti semantici e lessicali sono memorizzati in regioni separate del cervello, ma reciprocamente connesse sulla base dell'esperienza passata, secondo un meccanismo di apprendimento fisiologico. Il modello incorpora due reti neurali, una rappresenta la rete semantica, dove ogni neurone codifica per una proprietà, e l'altra la rete lessicale, dove ogni neurone codifica per una forma verbale associata alla rappresentazione di un dato concetto. Durante l'addestramento, per ogni concetto sono presentate alcune proprietà in input con una data probabilità: alcune sono condivise, cioè appartengono a più di un concetto e portano alla formazione di categorie, altre sono distintive, cioè sono tipiche di un concetto solo e consentono la

rappresentazione dei membri di una categoria. Un'ulteriore distinzione che riguarda le proprietà, si basa sul concetto di “salienza”: una proprietà saliente è una proprietà che viene subito in mente quando si pensa ad un concetto, ed è frequentemente presente in compiti cognitivi in cui al soggetto è chiesto di elencare le proprietà di un dato concetto; pertanto essa gioca un ruolo centrale nella rappresentazione concettuale.

Scopo di questo lavoro è quello di estendere un precedente modello (Ursino et al., 2015) per discutere criticamente i meccanismi neurali di apprendimento e gli aspetti che portano alla formazione di categorie.

Sono stati utilizzati 4 modelli con diverse tassonomie (2 con animali e 2 con oggetti), addestrati e testati separatamente. Le tassonomie, fornite dal Dipartimento di Neuropsicologia del San Raffaele di Milano, differiscono per il numero di concetti, il numero di features attribuite ad ogni concetto e il numero e disposizione delle categorie. Si è scelto di provare diverse tassonomie, poiché le differenze nel numero di caratteristiche giocano un ruolo essenziale nella memoria semantica, ad esempio nelle simulazione del comportamento di soggetti con deficit semantici, e nella stessa formazione di categorie.

La modifica più importante, rispetto ai modelli precedenti, è stata quella di inserire all'interno del modello una regola che si adatti automaticamente alla statistica delle proprietà date in input. In particolare, è stata adottata una soglia post-sinaptica variabile per la rete semantica, in grado di aumentare quando due proprietà si presentano in coppia più di frequente e rimanere al valore basale nel caso contrario. In questo modo, il concetto di salienza diviene diverso per le proprietà distintive e per quelle condivise, ed è possibile evitare che una proprietà condivisa da molti membri della stessa categoria (come “vola” per gli uccelli) divenga saliente e sia attribuita erroneamente all'intera categoria.

Dopo una panoramica sulla memoria, affronteremo gli aspetti principali del modello dal punto di vista qualitativo e matematico, le simulazioni su alcuni casi esemplari e le discussioni, con lo scopo di indagare i limiti del modello e cercare soluzioni per superarli.

Capitolo 1

1. CONCETTO DI MEMORIA

La *memoria* è la capacità del cervello di acquisire, conservare e utilizzare successivamente informazioni, ovvero quella funzione psichica o mentale volta all'assimilazione, alla ritenzione e al richiamo, sotto forma di ricordo, di informazioni concernenti il mondo attorno a noi, apprese con l'esperienza o per via sensoriale. La memoria è presente, a vari livelli, in tutti gli esseri animali; la sua importanza primaria sta nel fatto che non esiste alcun tipo di azione o condotta senza memoria. Inoltre è proprio la memoria la base della conoscenza umana e animale, proprio in virtù della capacità di apprendimento, assieme ad altre funzioni mentali quali elaborazione, ragionamento, intuizione, coscienza.

La memoria, detta anche *funzione mnestica*, non risulta necessariamente stabile a parità di contenuti o classi di stimoli ed è influenzata da elementi affettivi (come emozione e motivazione), oltre che da elementi riguardanti il tipo di informazione da ricordare. Dunque è un processo legato a molti fattori, sia cognitivi che emotivi, e eminentemente attivo (e quindi non solo un processo automatico o incidentale). Il processo mnestico si configura dunque come un percorso dinamico di ricostruzione e connessione di rappresentazioni, piuttosto che come un semplice "immagazzinamento" di dati in uno spazio mentale statico.

Il più diffuso criterio di classificazione della memoria si basa sulla durata della ritenzione del ricordo, cioè su quanto a lungo l'informazione è mantenuta in mente prima che il soggetto la recuperi e la usi in qualche compito, identificando due tipi distinti di memoria: la *memoria a breve termine*, e la *memoria a lungo termine*.

La memoria a breve termine (o *Short-Term Memory*) viene classicamente suddivisa nei seguenti sottotipi funzionali:

1. la memoria di lavoro (*Working Memory*), che contiene informazioni che vengono tenute in mente per uno scopo.
2. la *memoria iconica*, una tipologia di memoria sensoriale che viene sperimentata quando uno stimolo visivo, pur essendo terminato, continua a persistere per qualche istante.
3. la *memoria ecoica* una tipologia di memoria sensoriale che viene sperimentata quando uno stimolo uditivo, pur essendo terminato, persiste per qualche istante.

La memoria a lungo termine (o *Long-Term Memory*) viene classicamente suddivisa in:

- Memoria *dichiarativa* (o *esplicita*), riguarda le informazioni comunicabili, che vengono richiamate consciamente.
- Memoria *procedurale* (o *implicita*), riguarda le informazioni relative a comportamenti automatici, di cui il soggetto non è in grado di descrivere il contenuto memorizzato. Entra in gioco quando esperienze precedenti facilitano la prestazione di un compito che non richiede la rievocazione consapevole di quelle esperienze.

La memoria dichiarativa può essere ulteriormente suddivisa in:

- *memoria episodica*: memoria relativa agli eventi (ad es., la memoria episodica autobiografica è relativa agli eventi della nostra vita);
- *memoria semantica*: memoria legata ai concetti; è una memoria condivisa con gli altri e indipendente dal contesto. Creare uno stereotipo di un concetto.

La memoria procedurale riguarda invece soprattutto le abilità motorie e fonetiche, che vengono apprese con il semplice esercizio e utilizzate senza controllo attentivo volontario.

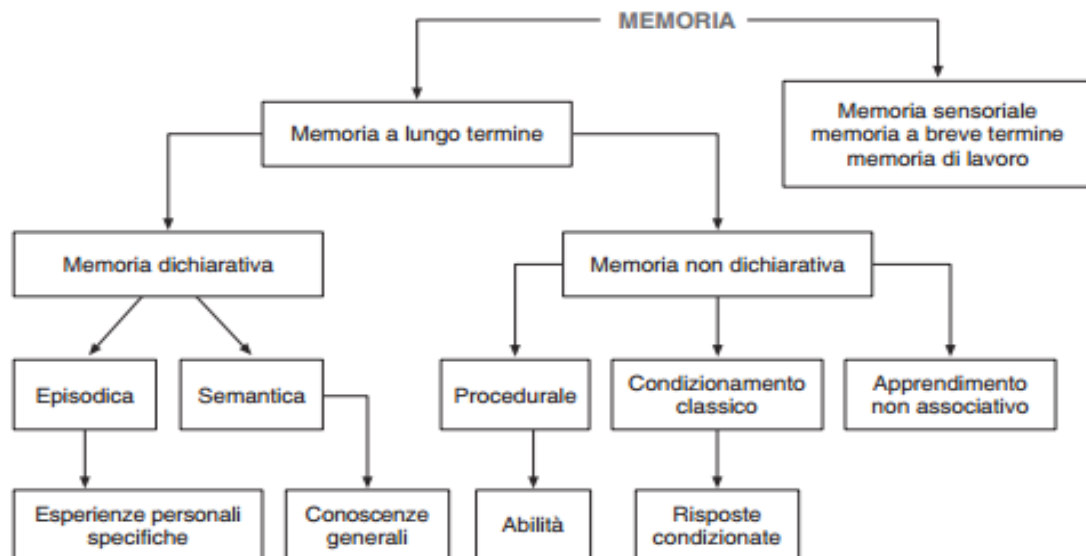


Fig.1.1: La struttura della memoria.

Oggi possiamo dire che nei due tipi di memoria (dichiarativa e procedurale) sono implicate aree cerebrali diverse. Questa concezione deriva principalmente dall'analisi delle dissociazioni funzionali dei processi di memoria osservate nei pazienti divenuti amnesici in seguito a lesione cerebrale focale. Essendo quindi localizzate in aree diverse del cervello, le due memorie non sono soggette a processo degenerativo nello stesso momento. Mentre la memoria dichiarativa si situa principalmente nella corteccia cerebrale (o neocorteccia, in particolare quella temporale), nella memoria procedurale sono implicate le strutture sottocorticali, in particolare per il suo consolidamento sono impiegati le strutture corticali il nucleo dorsomediale del talamo, i corpi mamillari e il fornice.

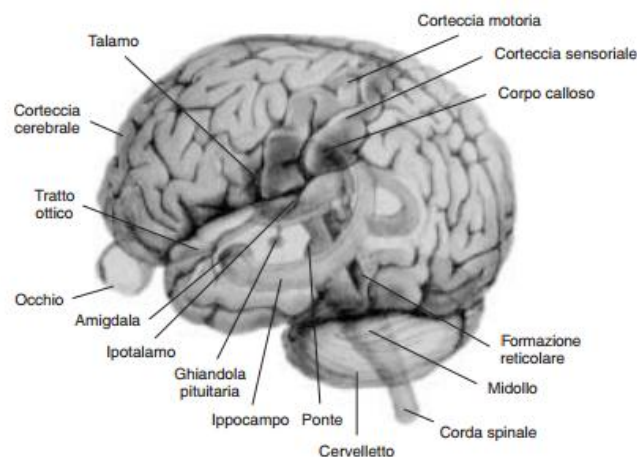


Fig.1.2: Rappresentazione delle strutture cerebrali coinvolte nei processi mnemonici.

1.1 Memoria semantica e linguaggio

La *memoria semantica* è la parte della memoria dichiarativa che riguarda le conoscenze generali sul mondo, non è personale ma comune a tutti.

Tulving (1982) per primo ha introdotto il termine “memoria semantica” per identificare un tipo di memoria dichiarativa che comprende concetti su oggetti, indipendentemente dal contesto e culturalmente condivisa.

Nella concezione originaria, la memoria semantica costituisce il repertorio di concetti – e il vocabolario linguistico e non linguistico che li esprime – posseduti da ciascuna persona. In quanto tale, essa è la base di conoscenze che ci permette di agire in modo funzionale nel mondo che ci circonda. Tali conoscenze sono create a partire dal mondo sensoriale, attraverso l’esperienza, sia diretta sia mediata dal linguaggio, e sono rappresentate in un formato che ne permette l’uso sia nel riconoscimento (ad esempio, l’oggetto che sto vedendo è riconducibile alla categoria utensili da cucina) sia nella produzione (ad esempio, nel disegnare un’automobile metterò le ruote). È fondamentale che il formato in cui sono rappresentate le conoscenze sia sufficientemente astratto da permetterne un uso condiviso. Inoltre, il riconoscimento e l’uso dei concetti è caratterizzato da grande

velocità (un giudizio semplice, come decidere che un gatto ha la coda, richiede meno di mezzo secondo) e apparente automaticità. È pertanto plausibile pensare che le conoscenze siano organizzate in modo tale da riflettere le relazioni che esistono fra i concetti stessi: ciascun concetto sarà semanticamente legato a un certo numero di concetti (ad esempio, «gatto» è legato a «animale», a «domestico» a «miagola», ecc.) ma non ad altri (ad esempio, «gatto» e «abbaia»), andando a formare in questo modo delle categorie semantiche, se la relazione è su base categoriale (relazioni tassonomiche), o dei campi semantici, se la relazione è determinata dalle nostre conoscenze enciclopediche di ciò che accade nel mondo (relazioni associative). Ora, data la varietà e la diversità anche qualitativa dei concetti rappresentati, alcuni elementi saranno maggiormente caratterizzati da alcune proprietà, altri da altre. Ad esempio, se si pensa a tutto ciò che si sa riguardo ai cani, le informazioni che vi verranno in mente sono molteplici: potete pensare alla categoria di appartenenza, alle diverse razze di cani, alle loro caratteristiche percettive, sia quelle visive (ad esempio, l'aver quattro zampe) sia quelle legate ad altre modalità sensoriali (ad esempio, il modo in cui i cani abbaiano o la morbidezza del pelo). Potete attivare le vostre conoscenze enciclopediche riguardanti le funzioni che i cani possono svolgere (ad esempio nella caccia, nella lotta alla droga, per la compagnia), gli elementi del loro habitat (collare, canile).

Quindi, oltre alla rappresentazione di specifici riferimenti spazio-temporali e personali (i ricordi, ad es. la volta in cui mi hanno regalato un cucciolo), abbiamo la rappresentazione di informazioni di carattere generale, linguistico-simboliche ma anche di natura non linguistica (le conoscenze). Seguendo la denominazione tradizionale, il primo sistema di rappresentazione è chiamato memoria episodica e il secondo memoria semantica. In questa prospettiva, sapere che il cane è un animale riguarda la memoria semantica, mentre ricordare il cane di vostra zia fa riferimento

alla memoria episodica. È opportuno notare come la distinzione sia enfatizzata anche a livello linguistico. Infatti, per le informazioni relative alla memoria semantica abbiamo utilizzato il verbo sapere, mentre per quelle relative alla memoria episodica, abbiamo usato il verbo ricordare.

L'importanza della memoria semantica e della sua stretta relazione con il linguaggio, ha condotto alla formazione di alcune teorie, con lo scopo di comprendere la sua organizzazione nel cervello e il comportamento di pazienti con deficit lessicali. Prima dell'utilizzo di tecniche di visualizzazione funzionale del cervello, la conoscenza delle basi neurali della memoria semantica dipendeva dallo studio di pazienti con lesioni o danni cerebrali. Tali studi hanno portato alla scoperta di almeno due regioni coinvolte la corteccia sinistra pre-frontale (LPC) e i lobi temporali. In particolare, i pazienti con danno alla LPC avevano difficoltà nel recuperare parole in risposta ad indizi specifici (ad esempio nel dire parole che iniziano con una lettera specifica o il nome di oggetti che appartengono ad una categoria semantica specifica), seppur in assenza di afasia. Questo ha suggerito il ruolo cruciale della LPC nel recupero di informazione semantica e lessicale. I pazienti con danni ai lobi temporali, d'altra parte, non riuscivano a dare il giusto nome agli oggetti e a recuperare informazioni sulle loro specifiche caratteristiche. Quindi almeno in parte, queste informazioni sono immagazzinate nei lobi temporali. I primi studi di imaging funzionale hanno rivelato che l'elaborazione semantica si svolge in ampie aree che coinvolgono la corteccia prefrontale, i lobi parietali e posteriori temporali, e regioni ventrali e laterali della corteccia temporale. Studi sulla generazione di una parola suggeriscono che l'informazione riguardo le proprietà degli oggetti può essere immagazzinata in diverse regioni della corteccia, e mostrano che le regioni laterali e ventrali della corteccia temporale posteriore possono essere attive in base al tipo di

informazione che viene richiamata. Ad esempio, se al soggetto si chiede di pronunciare il nome di un'azione tipicamente associata ad un oggetto, si attiva la regione posteriore del giro temporale medio sinistro, adiacente al sito attivo durante la percezione del movimento; se si chiede invece di pronunciare una parola che identifica un colore, si attivano i lobi temporali ventrali, anteriori ai siti attivi durante la percezione del colore.

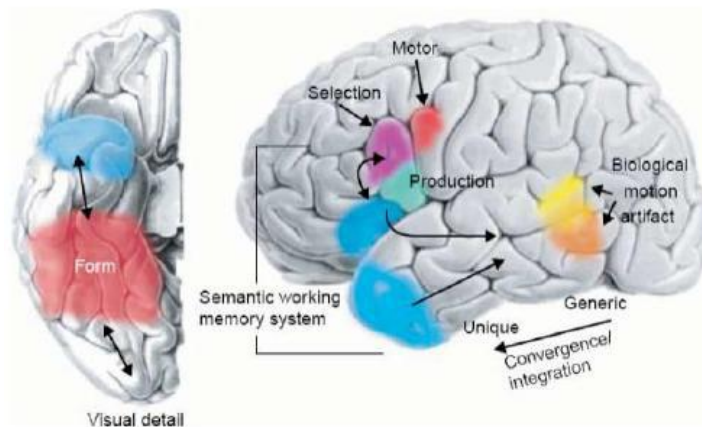


Fig.1.3: rappresentazione schematica della superficie ventrale (sinistra) e laterale (destra) del cervello. Le aree colorate identificano le posizioni approssimative delle regioni in cui possono essere memorizzate le informazioni semantiche sulla forma, movimento e relativi schemi motori dell'oggetto. L'informazione semantica può essere integrata nei lobi temporali, con crescente convergenza e integrazione delle informazioni procedendo dall'asse anteriore verso il posteriore, che vuol dire passare dai concetti più generali (le categorie) ai concetti più specifici (i membri delle categorie). Le regioni specifiche della corteccia parietale inferiore sinistra ed i lobi temporali possono essere coinvolti nelle operazioni di recupero, selezione ed accesso alle informazioni semantiche. [Martin, A., & Chao, L.L., 2001]

1.2 Modelli della memoria semantica

Riguardo ai modelli, con cui possiamo rappresentare la memoria semantica, possiamo distinguere almeno tre tipologie: rappresentazione astratta, per esemplari, e approccio connessionista.

Secondo i *modelli della rappresentazione astratta*, le informazioni sono mantenute in memoria semantica in un formato amodale, slegato cioè dalle informazioni sensoriali-motorie delle entità rappresentate. Inoltre, secondo tali modelli, la rappresentazione prescinde dalla particolare situazione in cui l'elemento può trovarsi nel mondo reale.

I *modelli per esemplari*, invece, si fondano sull'esperienza. Ciò significa che la rappresentazione multimodale acquisita durante l'esperienza (come la percezione, l'azione, l'emozione) è riattivata nel cervello durante la rappresentazione dell'oggetto concreto. Tali modelli si possono inserire nella più generale tendenza, definita "grounded cognition", secondo la quale il contesto, ovvero la specifica situazione in cui la persona e il mondo in cui interagisce si trovano, svolge un ruolo fondamentale nel determinare i processi cognitivi.

Per quanto riguarda i *modelli connessionisti*, invece, sono costituiti nella maggior parte dei casi da un'architettura distribuita in cui la rappresentazione di un concetto viene «spalmata» su diversi sottosistemi. Pertanto, secondo questo approccio, non esiste un nodo concettuale corrispondente a «cane» e neppure l'insieme di esemplari di «cane». Esistono invece insiemi di attributi di base, condivisi da un numero variabile di elementi, che si attiveranno in configurazioni appropriate in riferimento al concetto rilevante. Così, semplificando notevolmente, possiamo dire che i concetti «cane» e «zebra» saranno disponibili quando sarà attivata una configurazione che comprenderà, fra le altre, le caratteristiche «affettuoso», «abbaiare» e «scodinzolare» per il primo concetto, «selvatico», «ha la criniera» e «ha le strisce bianche e nere» per il secondo. Inoltre, è interessante notare che in questi modelli la strutturazione in categorie non è un principio organizzativo della rappresentazione ma una proprietà emergente: le categorie «emergono» dalla somiglianza dei pattern di attivazione di insiemi di caratteristiche relative ai diversi concetti. Ad esempio, l'attivazione delle caratteristiche «ha quattro zampe» e «ha il pelo» attiverà la categoria dei mammiferi mentre l'attivazione delle caratteristiche «ha due zampe», «ha le ali» attiverà gli la categoria degli uccelli.

1.2.1 Modelli connessionisti

Nei modelli connessionisti, le informazioni sulle diverse proprietà degli oggetti viaggiano attraverso i vari “strati” di una rete di unità di elaborazione (tipicamente costruiti da un livello di “unità di input”, uno o più livelli intermedi di “unità nascoste” e un livello di “unità di output”) sotto forma di segnali eccitatori o inibitori che sommandosi tra di loro danno luogo a specifici pattern di attivazione tra le singole unità interconnesse. La caratteristica principale dei modelli connessionisti dunque, è la loro struttura a rete, ispirata all’organizzazione del sistema nervoso. Le “unità”, che compongono tale rete, si ispirano al funzionamento dei neuroni: sono fortemente connesse e si influenzano tra loro; l’influenza dipende dallo stato di attivazione dell’ unità stessa e dalle caratteristiche della connessione (debole o forte, eccitatoria o inibitoria).

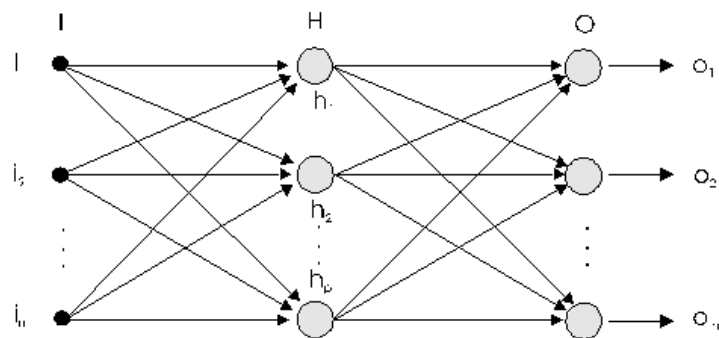


Fig 1.4: Rete a due strati. **I:** nodi d'ingresso. **H:** strato nascosto. **O:** strato di uscita

Uno degli scopi principali di un modello connessionista è quello di analizzare come le proprietà di output possono spontaneamente emergere come conseguenza delle caratteristiche di ingresso, utilizzando regole di apprendimento adatte per i collegamenti, cioè per le connessioni tra i nodi che compongono la rete (le sinapsi).

Uno dei primi modelli connessionisti è stato proposto da *Hinton et al.* (1981). Lo scopo di tale modello era quello di analizzare le proposizioni

(come “la rosa è rossa”). Per fare ciò, il modello include tre sets di unità di elaborazione (soggetto, predicato e complemento) collegate mediante un quarto strato di unità nascoste (chiamate proposizioni). La corretta associazione tra le unità è rappresentata da un bacino di attrazione. Tramite dinamiche di attrattori, Hinton riuscì a spiegare importanti proprietà della memoria semantica. Le “*reti di attrattori*” sono una classe di modelli matematici connessionisti: per recuperare un concetto, la rete, sulla base dell’esperienza precedente, è attratta verso un set stabile di attività, ripristinando informazioni mancanti. Il limite principale del modello di Hinton è che i pesi sinaptici sono dati a priori, non basati sulla passata esperienza. In un articolo successivo, Hinton (1986) ha utilizzato uno schema feedforward, con cinque strati, uno di input, due di output e due nascosti, addestrati con l'algoritmo backpropagation, per investigare quale rappresentazione può svilupparsi negli strati nascosti. Egli ha dimostrato che la rete può rivelare caratteristiche semantiche implicite non originariamente utilizzate come input, e rappresentarle nello strato nascosto.

Tuttavia, nonostante le reti feedforward siano uno strumento potente nell’apprendere le relazioni tra le proprietà, non sono adatte per lo studio degli aspetti temporali e dinamici della nostra memoria (come il fenomeno del *priming*), dal momento che le informazioni si propagano tra livelli in un unico passaggio (i neuroni prendono il loro input solo dallo strato precedente, ed inviano il loro output solo allo strato seguente, ma neuroni dello stesso strato non sono tra loro connessi). Per questa ragione i modelli sviluppati negli anni recenti, sono basati sulle dinamiche di attrattori (come nel modello originale di Hinton), cioè utilizzano sinapsi ricorrenti che consentono lo studio di aspetti dinamici della memoria semantica e quindi anche il *priming*. Altri autori hanno investigato in che modo le relazioni statistiche tra le proprietà (derivanti da compiti in cui si chiede di elencare

le proprietà di alcuni oggetti) possono essere codificate attraverso reti di attrattori, e hanno analizzato il ruolo di caratteristiche diverse, come la correlazione, e la distintività. Ad esempio *Cree et al. (2006)* hanno evidenziato il ruolo che le proprietà distintive hanno nell'attivazione di un concetto rispetto alle proprietà condivise, mostrando che le sinapsi tra le parole che identificano un concetto e le proprietà distintive dello stesso concetto, sono più forti rispetto alle sinapsi che coinvolgono proprietà condivise. *O'Connor et al. (2009)* hanno dimostrato che un singolo strato di nodi, che codificano le proprietà, può rappresentare sia concetti superordinati (le categorie) che concetti subordinati (i membri di una categoria), senza il bisogno di una organizzazione gerarchica a priori, mettendo in evidenza le possibilità offerte dalle reti di attrattori, e il diverso ruolo delle diverse proprietà. In questi modelli, però, le sinapsi sono addestrate usando un algoritmo supervisionato, ovvero c'è un "insegnante" esterno che di volta in volta dice alla rete quale è la prestazione desiderata. La rete si modifica in conseguenza a tale insegnamento cosicché, dopo un certo numero di epoche (dell'ordine delle migliaia) in cui le sono presentati tutti gli esempi con il corrispondente output, diventa capace di produrre da sola l'output corretto per ogni input. Un esempio di tale apprendimento è l'algoritmo della back-propagation, cioè la propagazione all'indietro dell'errore: la rete calcola, per ogni unità di output, l'errore, cioè la differenza tra lo stato di attivazione prodotto dalla rete e quello stabilito nell'input di insegnamento, e lo propaga all'indietro verso i neuroni nascosti; questo errore serve a modificare i pesi delle connessioni tra i neuroni. Tuttavia l'apprendimento supervisionato non è una regola neurofisiologica. In un ambiente reale, i concetti sono probabilmente appresi attraverso una semplice presentazione di oggetti in un modo non supervisionato (cioè, senza un paradigma di correzione di errore). Quindi, può essere utile investigare il ruolo delle reti di attrattori nella formazione

delle memoria semantica, all'interno del paradigma di apprendimento Hebbiano. Nella regola di Hebb non è necessario calcolare l'errore e propagarlo all'indietro durante l'addestramento. E' un metodo che gode di evidenza neurofisiologica e sembra riprodurre un modo naturale di codifica delle regolarità statistiche e della correlazione tra le proprietà.

La regola di Hebb nello studio del priming ha già una lunga tradizione, McRae et al. (1997) hanno utilizzato una rete di attrattori allenata con la regola di Hebb per indagare su diversi effetti del priming semantico, Siekmeier e Hoffman (2002) hanno utilizzato la regola di Hebb in una rete di Hopfield per confrontare il priming semantico tra soggetti normali e pazienti schizofrenici.

1.3 Priming

Il priming è un effetto psicologico per il quale l'esposizione ad uno stimolo influenza la risposta a stimoli successivi. Tale influenza può esercitarsi a livello percettivo, semantico o concettuale. La ripetizione di una certa parola, la sua importanza, la misura in cui la possiamo associare ad altri concetti già acquisiti, sono tutti fattori che influiscono sulla natura e sul grado di codificazione che avviene al momento dell'apprendimento.

Alla base del priming c'è il fenomeno per cui riconoscere una parola è più facile quando questa viene presentata dopo un'altra parola correlata o associata ad essa, piuttosto che dopo una parola con la quale non c'è alcuna relazione (*Laudanna & Burani, 1993*). Un esempio è che ad un soggetto vengono mostrati due stimoli linguistici separati, in successione temporale (il prime e il target), e il soggetto deve nominare il secondo dei due stimoli (il target). Con questi tipi di test la grandezza di interesse è l'intensità della relazione che lega prime e target (e quindi l'influenza che il primo esercita sul secondo). Nel presente studio si farà uso della vicinanza semantica, cioè due concetti lessicali sono visti come semanticamente simili se

condividono caratteristiche, o appartengono a categorie di livello superiore. In questo modo se c'è un legame tra prime e target, la denominazione di quest'ultimo avviene più velocemente rispetto alla situazione in cui tra prime e target non c'è alcuna relazione. Quindi i soggetti risponderanno più rapidamente a una parola target (es. gatto), quando è preceduto da una parola semanticamente vicina (es. cane), contro un termine estraneo (es. forchetta).

Gli studi sul priming semantico sono di interesse per molti ricercatori perché consentono una maggiore conoscenza sull'organizzazione della memoria semantica. Il riconoscimento di una parola comporta l'attivazione dell'unità corrispondente all'interno della struttura della rete semantica. Nel momento in cui viene avviato un processo di elaborazione che coinvolge una particolare unità linguistica, l'attivazione si diffonde all'interno del sistema semantico rendendo più veloce il processamento di tutte le proprietà connesse con l'unità di riferimento. L'attivazione si diffonde dall'unità attiva a tutte le proprietà ad essa collegate. L'esistenza e la forza di questi collegamenti sono ottenuti grazie alle fasi di addestramento semantico e lessicale tra le parole e le proprietà. Proprio grazie a questo processo il riconoscimento della parola "gatto" diventa più veloce se preceduta dalla parola "cane", perché lo sforzo necessario per richiamare alla mente la parola "cane" non si esaurisce una volta recuperata questa sola parola ma viene usato anche per prendere in considerazione le proprietà e i concetti che ad essa sono più strettamente collegati.

Diversi sono i compiti che si avvalgono del priming, ad esempio i compiti di decisione lessicale, nel quale al soggetto è richiesto di decidere se uno stimolo presentato appartiene o meno alla propria lingua; o i compiti di denominazione di parole o figure, in cui al soggetto viene chiesto di denominare il più velocemente possibile uno stimolo presentato. In tutte queste modalità di ricerca, la variabile dipendente, lo strumento con cui

viene misurata l'intensità del legame tra prime e target, tipicamente è il tempo di risposta che intercorre tra la presentazione del target e la risposta del soggetto. Ciò implica l'esistenza di una relazione (più o meno lineare) tra tempo di risposta ed elaborazione cognitiva. Un'assunzione forte è che quando si processano due concetti distinti (es. cane e forchetta), si dovrebbero verificare effetti di tipo additivo, con un aumento del tempo di risposta; mentre due concetti semanticamente vicini dovrebbero mostrare un effetto interattivo, con conseguente abbassamento del tempo di elaborazione.

1.4 Concetti e processi di categorizzazione

La memoria semantica è organizzata su base categoriale. Di fatto, le categorie rivestono un ruolo importante sia come principio di organizzazione che struttura il sistema di rappresentazione, sia come chiave di recupero delle informazioni. Dal primo punto di vista, la categorizzazione è un meccanismo mentale particolarmente potente perché permette di dare origine a insiemi più o meno ampi di elementi sulla base di uno o più principi di organizzazione. Ad esempio: posso generare i nomi di animali che conosco, ma anche dei mezzi di trasporto o utensili da cucina. La differenziazione in classi permette il recupero di informazioni e caratteristiche non esplicitate verbalmente. Ad esempio, se in qualche isola inesplorata viene scoperto un nuovo animale che viene classificato come mammifero, anche senza averlo mai visto gli attribuirò le proprietà «mangia» e «dorme».

La capacità di classificare e rappresentare elementi in classi, ovvero il processo di categorizzazione, assolve diverse funzioni. Una prima funzione della categorizzazione è quella di rendere possibile l'esecuzione di risposte comportamentali riferite a una classe di oggetti cognitivamente equivalenti (piuttosto che considerare singolarmente ciascun oggetto). Confrontate

adesso uccelli e pesci: si tratta di animali diversi, se considerati rispetto alla propria categoria di appartenenza, ma simili, se considerati nella più ampia categoria degli animali. Di fatto, una seconda funzione della categorizzazione è quella di permettere di rilevare analogie e differenze fra oggetti a diversi livelli di astrazione.

Un'ulteriore distinzione sulle categorie viene fatta nel libro di *Robert Sternberg* dal titolo “*Cognitive Psychology*”, dividendole in naturali e artefatte. Le prime si verificano naturalmente nel mondo (ad esempio gli uccelli o gli alberi formano categorie naturali), le seconde sono concepite dall'uomo con lo scopo di svolgere una particolare funzione (ad esempio le automobili o gli utensili da cucina), ma entrambe sono relativamente stabili, mentre i singoli membri della categoria possono cambiare. Alcune categorie sono concepite *ad hoc*, cioè sono categorie che si formano nella mente con un particolare scopo, e non le troviamo definite ad esempio in un dizionario come le categorie naturali e artificiali.

La visione classica delle categorie concettuali, comporta la scomposizione di un concetto in proprietà; alcune di queste sono elementi essenziali della categoria, e tutte insieme sono sufficienti per definire una categoria (*Katz, 1972; Katz & Fodor, 1963*). Tali proprietà sono considerate “*defining features*” perché rappresentano la definizione di una categoria, e sono attributi necessari: per essere una determinata cosa è necessario avere una determinata proprietà. È interessante ricordare che gli attributi utilizzati nella identificazione dei concetti non sono necessariamente dati a priori, ma possono essere “creati” in risposta alle esigenze di categorizzazione poste dalla situazione. Le “*defining features*” sono essenziali per definire un concetto, tuttavia la violazione di qualcuna di queste non sembra cambiare la categoria a cui appartengono. Pensiamo alla proprietà di avere le ali tipica degli uccelli: siamo d'accordo sul fatto che un pettirosso al quale sono state tagliate le ali è ancora un uccello. Senza ali diviene

concettualmente simile a un uccello, come il gallo che non vola. Entrambi sono uccelli, ma il pettirosso sembra rappresentare meglio l'esempio di un uccello. Infatti le persone a cui viene chiesto di valutare la tipicità di un pettirosso rispetto ad un gallo, attribuiscono un punteggio più alto al primo uccello. Questo accade perché i bambini durante l'apprendimento imparano prima le istanze tipiche di una categoria, non i casi atipici.

Interessante è anche la teoria dei prototipi, la quale suggerisce che le categorie sono formate sulla base di un modello di categoria. Cruciali per questa teoria sono le proprietà definite come “*characteristic features*” che descrivono (o tipizzano) un prototipo che si forma attraverso l'esperienza con degli esempi di membri di categorie, ma non sono necessarie, nel senso che possono non essere possedute da tutti gli elementi di una categoria. Dunque, mentre una defining feature appartiene ad ogni istanza di una categoria, una characteristic feature non appartiene necessariamente ad ognuna di esse.

Nel modello presentato in questo lavoro di tesi si considerano due attributi che riguardano le proprietà degli oggetti usate come input, e sono la distintività e la condivisione. Entrambe sono proprietà globali, cioè dipendono da tutto il set di concetti immagazzinato nella memoria semantica. Una proprietà distintiva appartiene a un singolo concetto, ed è importante quindi per distinguere i membri di una categoria; l'idea comune è che una proprietà condivisa contribuisce alla formazione dei concetti superordinati. Un'ulteriore distinzione usata nel seguito è quella fra proprietà salienti e marginali. La salienza quantifica quanto una proprietà è importante per un dato concetto, ad esempio se una proprietà spontaneamente viene in mente pensando ad un concetto o se è essenziale per il suo riconoscimento. Tale concetto ricorda l'idea delle “defining features” ma è più facilmente testabile attraverso le simulazioni del modello.

1.5 Apprendimento Hebbiano

Addestrare una rete neurale significa presentarle un insieme di esempi e lasciare che la rete si costruisca da sola la conoscenza interna necessaria per svolgere il compito richiesto. Il modo con cui la rete apprende viene definito dalla regola d'apprendimento utilizzata. Per apprendimento si intende un'ottimale variazione delle intensità sinaptiche che permetta di fornire una risposta adeguata ai vari stimoli presentati alla rete. Poiché l'attivazione di un'unità è determinata dalla somma di questi segnali, diventa cruciale, ai fini dell'apprendimento, il peso delle connessioni, è per questo che le regole di apprendimento operano su questi pesi modificandoli. La più usata regola di apprendimento è quella di Hebb, la quale afferma che se un neurone di entrata ed un neurone in uscita sono attivati contemporaneamente per un certo tempo, aumenta la facilità di trasmissione del segnale stesso fra i due neuroni. In altri termini, possiamo dire che si incrementa il valore del peso di connessione fra i due neuroni. La regola di Hebb afferma che : “Quando un neurone A (pre-sinaptico) ha partecipato più volte a far eccitare un neurone B (post-sinaptico) si verificano alterazioni metaboliche che modificano l'attività di A su B, cioè la forza della sinapsi che collega A e B (W_{BA}) aumenta, e tale sinapsi si addestra sulla base della precedente relazione tra A e B”.



La capacità sorprendente di apprendere, propria dei sistemi neurali biologici risiede nella loro grande plasticità a livello microstrutturale (Hebb, 1949). Le sinapsi modificano le loro proprietà in relazione a

particolari stimoli esterni per far sì che il sistema neurale nel suo complesso produca risposte adeguate a determinati stimoli ambientali. Dire che una rete interagisce con l'ambiente significa sostanzialmente affermare che dall'ambiente riceve gli stimoli attraverso i suoi ingressi e risponde attraverso la produzione di un pattern di uscita. La risposta della rete neurale deve essere modificata in modo da diventare la più appropriata possibile al pattern d'ingresso in quel momento. Questo viene ottenuto variando il valore dei pesi delle connessioni in modo che, in presenza di un determinato pattern in ingresso alla rete, si abbia una risposta corrispondente.

Il modello elaborato dallo psicologo Donald O. Hebb negli anni Quaranta del secolo scorso, spiega l'apprendimento attraverso tre ipotesi, ciascuna delle quali ha col tempo ricevuto adeguate conferme sperimentali. La prima ipotesi è che i neuroni corticali rafforzino le loro connessioni quando risultano con frequenza attivi contemporaneamente. Questo principio di apprendimento associativo sembra essere valido per la maggioranza dei neuroni corticali; a esso si fa comunemente riferimento, appunto, come regola di Hebb. La seconda ipotesi è che la corteccia sia un'enorme memoria associativa in cui il rafforzamento delle sinapsi abbia luogo non solo tra neuroni vicini, ma anche tra neuroni in aree corticali distanti. Questa seconda ipotesi trae sostegno dagli studi neuroanatomici che evidenziano percorsi cortico - corticali tra molte aree della corteccia. Secondo la terza ipotesi, la contemporanea e frequente attivazione di un gruppo di neuroni che dà luogo al rafforzamento sinaptico ha conseguenze funzionali importanti. I neuroni fortemente connessi probabilmente agiscono insieme, come un'unità funzionale. Se vengono attivati solo alcuni dei neuroni, si attiverà l'intero gruppo, a causa delle forti connessioni tra i membri del gruppo stesso. Gli insiemi hebbiani di cellule

si possono definire come unità funzionali composte da molti neuroni che si formano in una rete associativa, la corteccia, come risultato di una frequente attività neuronale simultanea che causa un rafforzamento sinaptico. Negli ultimi anni, l'idea hebbiana di insiemi distribuiti con topografie corticali definite è stata incorporata nelle teorie neuronali a grande scala del linguaggio e di altre funzioni cognitive.

La regola di Hebb si può descrivere matematicamente con la formula seguente:

$$\Delta W_{BA} = \gamma \cdot Y_A \cdot Y_B$$

Dove con Y_A viene indicata l'attività del neurone pre-sinaptico (che per semplicità immaginiamo possa assumere valore 0 o 1), con Y_B l'attività del neurone post-sinaptico (0 o 1), ΔW_{BA} indica la variazione della sinapsi da A a B, e γ è un fattore di apprendimento che determina la velocità di apprendimento; maggiore è γ e più velocemente è appresa la variazione sinaptica. I quattro casi possibili sono riassunti nella tabella 1.1:

Y_A	Y_B	ΔW_{BA}
0	0	0
1	1	γ
1	0	0
0	1	0

Tabella 1.1: se entrambi i neuroni sono inibiti non c'è nessuna variazione sinaptica. Se entrambi sono eccitati la sinapsi da A a B cresce di un valore γ . Se però uno dei due neuroni è inattivo la sinapsi è nulla.

Come si può notare dalla tabella precedente, la regola così formulata comporta soltanto un rinforzo sinaptico, quando entrambi i neuroni sono attivi.

Per avere maggior evidenza biologica, nel modello descritto a partire dal capitolo 2, la regola di Hebb utilizzata presenta anche un indebolimento, modificando l'apprendimento delle sinapsi tra i neuroni che codificano le proprietà dei singoli concetti e delle sinapsi che collegano tali proprietà alle parole associate.

La regola modificata è la seguente:

$$\Delta W_{j,i}^{AB} = \gamma_{j,i}^{AB} (x_j^A - \theta_{post}^{AB}) (x_i^B - \theta_{pre}^{AB})$$

Gli apici AB caratterizzano quantità che possono appartenere sia all'area semantica che a quella lessicale. L'uso classico della regola di Hebb porta alla formazione di sinapsi simmetriche, ovvero i valori di soglia post e pre-sinaptica sono uguali. Nel modello invece è stato necessario utilizzare valori diversi per creare sinapsi asimmetriche, in modo tale da poter distinguere le proprietà salienti da quelle marginali, e le proprietà condivise da quelle distintive. Tutto quanto sarà chiarito nel prossimo capitolo.

Capitolo 2

2. INTRODUZIONE AL MODELLO

Negli ultimi anni è aumentato molto l'interesse per le reti neurali, a testimonianza di ciò le numerose pubblicazioni. Il funzionamento delle reti neurali artificiali mira a riprodurre quello delle reti neurali biologiche, costituite da un grande numero di neuroni collegati tra loro secondo varie architetture che ne determinano la funzionalità.

Il modello di rete utilizzato in questo studio è una versione monodimensionale del modello a due dimensioni sviluppato nel 2013 Ursino et al. (*Ursino M., Cuppini C., Magosso E., 2015*). Il lavoro fatto su questo modello ha come obiettivo quello di rendere la rete il più “fisiologica” possibile, quindi sempre più vicina ad una rete neurale biologica.

2.1 Modello bidimensionale

Il modello incorpora due reti di neuroni, come illustrato in fig. 2.1. La prima rappresenta la “rete semantica” ed è dedicata alla descrizione di oggetti rappresentati come una collezione di features (proprietà) senso-motorie. Si assume che queste proprietà siano codificate in diverse aree corticali (sia nella corteccia sensoriale che nella corteccia motoria, e probabilmente anche in altre aree come quelle emotive) e siano organizzate topologicamente per implementare un principio di somiglianza. Ogni area codifica per una proprietà, e i neuroni prossimali si eccitano reciprocamente e inibiscono quelli più distali attraverso sinapsi laterali eccitatorie e inibitorie all'interno della stessa area. Grazie alla organizzazione topologica, l'attività dei neuroni si diffonde anche alle unità prossimali producendo una bolla di attivazione. Questo significa che le proprietà simili localizzate nelle posizioni prossimali della rete, diventano

moderatamente attive insieme. Inoltre una proprietà può ricevere sinapsi da altre proprietà in diverse aree realizzando una memoria auto-associativa.

Il secondo strato di neuroni rappresenta la “rete lessicale”. Ogni unità computazionale in questa rete codifica per una word-form (forma verbale o lemma), che è associata con una rappresentazione di un oggetto individuale. Le sinapsi tra la rete semantica e la rete lessicale realizzano una memoria etero-associativa.

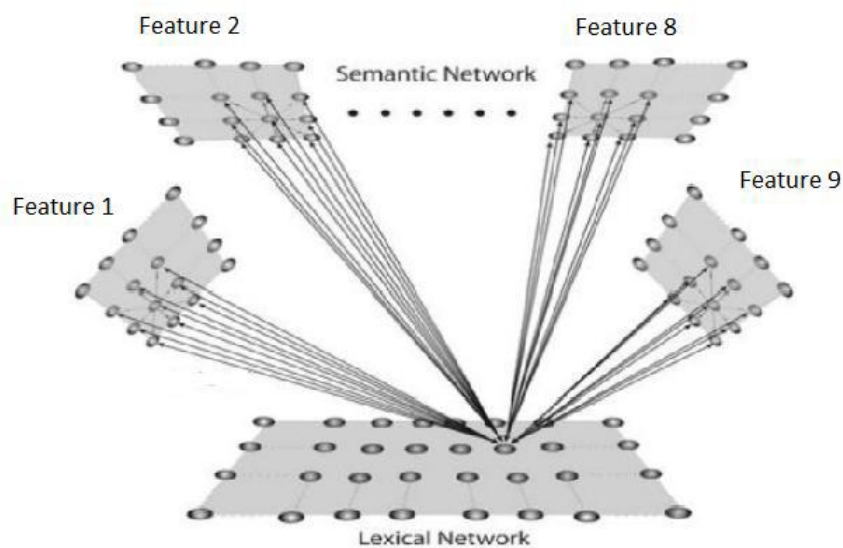


Fig.2.1: struttura generale del modello in cui è presente una rete semantica e una rete lessicale.

Ogni unità neurale è descritta da due indici (ij o hk) che rappresentano la posizione all'interno della rete. Di conseguenza una sinapsi tra due unità neurali ha quattro indici (per esempio ij, hk): i primi due rappresentano la posizione del neurone post-sinaptico, gli altri due la posizione del neurone pre-sinaptico. La rete semantica ha 9 aree, ognuna codifica per una proprietà (quindi la rete può gestire massimo 9 proprietà per ogni oggetto) e ogni area è descritta da una matrice 20×20 di unità neurali (400 unità in totale). Per semplicità queste nove aree sono codificate attraverso una singola matrice semantica che consiste di 60×60 unità ($i = 1, 2, \dots, 60$; $j = 1, 2, \dots, 60$). La rete lessicale comprende una singola area con 400 unità ($i = 1, 2, \dots, 20$; $j = 1, 2, \dots, 20$).

2.2 Modello unidimensionale

Il modello incorpora sempre due reti di neuroni, una rappresenta la rete semantica e l'altra la rete lessicale, come illustrato in Fig. 2.2. Gli oggetti nella rete semantica sono rappresentati come un insieme di proprietà (features) sparse non più in 9 aree corticali, ma raccolte in un vettore di lunghezza M , dove ogni unità neurale codifica per una feature, e ogni feature può ricevere sinapsi da tutte le altre (tranne che da se stessa) formando una matrice delle sinapsi di dimensione $M \times M$. Nella rete lessicale ogni unità neurale codifica per una parola (word-form), e ognuna è associata ad una rappresentazione individuale dell'oggetto. Le parole sono raccolte in un vettore di lunghezza ML . Non si considera più l'organizzazione topologica delle aree e quindi si trascurano le sinapsi laterali che implementano il principio di somiglianza. Dopo l'apprendimento le due reti diventano fortemente interconnesse, quindi lavorano insieme in modo integrativo, per costituire un sistema semantico-lessicale altamente interattivo. Ogni unità neurale viene indicata non più con un doppio indice, ma soltanto con un indice (j), mentre una sinapsi tra due unità neurali ha due pedici ji , il primo rappresenta la posizione del neurone post-sinaptico, il secondo la posizione del neurone presinaptico.

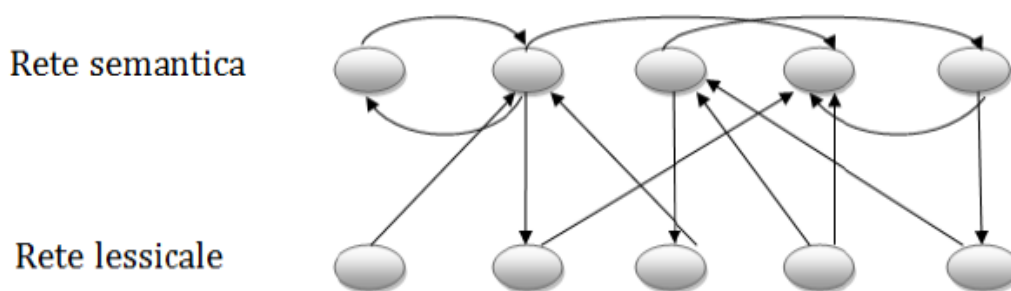


Fig. 2.2: schema del modello semplificato unidimensionale. La rete semantica (primo strato): ogni unità semantica è connessa alle altre dello stesso strato attraverso sinapsi eccitatorie. La rete lessicale (secondo strato): ogni unità lessicale può ricevere sinapsi eccitatorie e inibitorie dalle unità semantiche, mentre le unità semantiche possono ricevere solo sinapsi eccitatorie dai neuroni lessicali.

Le sinapsi eccitatorie tra i neuroni dell'area semantica sono create sulla base dell'esperienza passata della rappresentazione dell'oggetto, con un paradigma Hebbiano, che include sia il potenziamento che il depotenziamento delle sinapsi, e una soglia per l'attività presinaptica e postsinaptica. Il modello è stato addestrato usando una tassonomia di oggetti schematici (cioè, descritti attraverso un vettore di features) che hanno alcune proprietà comuni (così da realizzare una semplice categoria) e alcune proprietà distintive con una diversa frequenza di occorrenza. I risultati che illustrerò successivamente mostrano che le categorie possono essere formate dall'esperienza passata, usando la regola di Hebb con una diversa soglia per l'attività pre e post-sinaptica. Inoltre le proprietà hanno una diversa salienza, come conseguenza delle loro diverse frequenze utilizzate durante l'addestramento. La rete addestrata è in grado di risolvere compiti di riconoscimento di oggetti, mantenendo una distinzione tra le categorie e i membri individuali all'interno della categoria, e dando un diverso ruolo alle proprietà salienti rispetto a quelle marginali.

2.2.1 Descrizione matematica

Le equazioni matematiche sono le stesse del modello bidimensionale, tranne per il termine relativo alle sinapsi laterali che manca non essendo più considerate tali sinapsi nel presente lavoro. L'attività di ogni unità nella rete semantica e lessicale (indicata con x_j) è descritta dalla seguente equazione differenziale:

$$\tau^A \frac{d}{dt} x_j^A(t) = -x_j^A(t) + H^A(u_j^A(t)) \quad A = S, L \quad (1)$$

dove l'apice A indica la rete (semantica o lessicale), τ^A è la costante di tempo, che determina la velocità di risposta allo stimolo, e $H^A(u^A(t))$ è una

funzione di attivazione sigmoideale che modula gli stimoli in ingresso al neurone, ed è descritta dalla seguente equazione :

$$H^A(u^A(t)) = \frac{1}{1 + e^{-(u^A(t) - \phi^A)p^A}} \quad (2)$$

dove p è un parametro che stabilisce la pendenza centrale della sigmoide, e ϕ stabilisce la sua posizione centrale. Questa equazione assume convenzionalmente che l'attività massima sia 1 (cioè, le attività di tutti i neuroni sono normalizzate rispetto al valore massimo).

L'equazione 1 è di primo grado ed è risolta con il metodo di Eulero, per cui la soluzione all'istante $t + \Delta t$ sarà funzione dell'attività del neurone all'istante t precedente. $u_j^A(t)$ è l'ingresso globale che raggiunge il neurone j -esimo, e ha una diversa espressione nella rete semantica e nella rete lessicale.

2.2.2 Ingresso rete semantica

L'ingresso ai neuroni nella rete semantica (apice $A = S$) viene calcolato come la somma di tre contributi :

$$u_j^S(t) = I_j^S(t) + E_j^{SS}(t) + C_j^{SL}(t) \quad (3)$$

I_j^S rappresenta l'input esterno che evoca l'attività del neurone in posizione j , proveniente da una catena di elaborazione senso-motorio-emotivo che estrae le features, e può assumere valore 0 (assenza di feature) oppure 1 (presenza di feature). E_j^{SS} rappresenta un termine di accoppiamento

eccitatorio proveniente da unità in altre aree della rete semantica (cioè dai neuroni che codificano per una diversa feature). Esso ha la seguente espressione:

$$E_j^{SS} = \sum_i W_{j,i}^{SS} \cdot x_i^S \quad (4)$$

dove j indica la posizione del neurone postsinaptico (target), e i la posizione del neurone presinaptico, e la somma si estende a tutti i neuroni presinaptici nella rete semantica. Il simbolo $W_{j,i}^{SS}$ rappresenta le sinapsi eccitatorie nella rete semantica che realizzano una memoria auto-associativa e sono soggette ad apprendimento. Esse costituiscono una matrice di dimensione $M \times M$.

Il termine C_j^{SL} è un termine di cross-rete, ed è calcolato come segue:

$$C_j^{SL} = \sum_i W_{j,i}^{SL} \cdot x_i^L \quad (5)$$

Dove x_i^L rappresenta l'attività del neurone i nell'area lessicale e i simboli $W_{j,i}^{SL}$ sono le sinapsi che vanno dall'area lessicale all'area semantica, e formano una matrice di dimensione $M \times ML$.

2.2.3 Ingresso rete lessicale

L'ingresso all'unità neurale lessicale in posizione j ($u_j^L(t)$ in Eq. 1) comprende solo due termini, quindi:

$$u_j^L(t) = I_j^L(t) + C_j^{LS}(t) \quad (6)$$

$I_j^L(t)$ è l'input prodotto da una stimolazione linguistica esterna, proveniente dall'ascolto di fonemi o dalla lettura di caratteri, e può assumere valore 1 quando la word-form è data alla rete e 0 altrimenti.

$C_j^{LS}(t)$ rappresenta l'intensità dell'input dovuto alle connessioni sinaptiche dalla rete semantica. Le sinapsi dalla semantica alla rete lessicale includono sia un termine eccitatorio che un termine inibitorio ($W_{j,i}^{LS}$ e $V_{j,i}^{LS}$ rispettivamente), addestrati in modo diverso. Questo comporta una strategia inibitoria-eccitatoria più complessa. Infatti si vuole che una word-form nell'area lessicale sia eccitata quando tutte le sue corrispondenti proprietà salienti sono presenti nello scenario semantico, ma sia inibita quando è presente una proprietà che non appartiene all'oggetto (non accettiamo un "gatto che abbaia" oppure "una mucca che vola"). In altre parole, le proprietà che non sono coinvolte nella rappresentazione di un dato oggetto inibiscono la corrispondente unità lessicale.

Quindi, si può scrivere:

$$C_j^{LS} = \sum_i W_{j,i}^{LS} \cdot x_i^S - \sum_i V_{j,i}^{LS} \cdot x_i^S \quad (7)$$

Dove x_i^S rappresenta l'attività del neurone i nell'area semantica, $W_{j,i}^{LS}$ è la forza delle sinapsi eccitatorie e $V_{j,i}^{LS}$ la forza delle sinapsi inibitorie. Entrambe formano una matrice di dimensioni $ML \times M$.

2.3 ADDESTRAMENTO RETE

2.3.1 Equazioni del modello

All'inizio dell'addestramento le sinapsi eccitatorie all'interno della rete semantica, e le sinapsi eccitatorie e inibitorie tra la rete semantica e la rete lessicale, sono fissate a zero. L'addestramento è poi diviso in due fasi distinte:

Fase 1: i singoli concetti, descritti tramite alcune caratteristiche, sono presentati alla rete uno per uno, e sinapsi interarea collegano le diverse caratteristiche apprese. Tali caratteristiche hanno una diversa frequenza di occorrenza.

Fase 2: le forme verbali sono date alla rete lessicale, insieme ad alcune caratteristiche del corrispondente oggetto nella rete semantica, con le stesse frequenze della fase 1, e le sinapsi che collegano la rete lessicale e quella semantica vengono apprese. In questa fase vengono utilizzate, oltre alle forme verbali che denotano singoli membri di una categoria (con caratteristiche distintive e altre comuni), anche le categorie stesse, costituite da proprietà comuni a tale categoria.

Tutte le sinapsi si creano tramite la regola di Hebb, il peso viene quindi modificato sulla base della correlazione (o anticorrelazione) tra l'attività pre-sinaptica e post-sinaptica. Per tenere conto sia del potenziamento a lungo termine, che della depressione a lungo termine, si assume che queste attività vengano confrontate con una soglia. In particolare, viene utilizzata la seguente regola di Hebb:

$$\Delta W_{j,i}^{AB} = \gamma_{j,i}^{AB} (x_j^A - \theta_{post}^{AB})(x_i^B - \theta_{pre}^{AB}) \quad (8)$$

dove gli apici AB possono assumere il significato SS, SL o LS a seconda della particolare sinapsi, $\Delta W_{j,i}^{AB}$ rappresenta la variazione della forza delle

sinapsi, a causa delle attività presinaptiche e postsinaptiche, θ_{post}^{AB} e θ_{pre}^{AB} sono soglie per le attività post-sinaptiche e presinaptiche, γ^{AB} denota un fattore di apprendimento, x_j^A è l'attività del neurone postsinaptico, e x_i^B è l'attività del neurone presinaptico.

La regola di Hebb però ha bisogno di alcuni aggiustamenti per essere davvero fisiologica. Per prima cosa, quando entrambe le attività pre-sinaptiche e post-sinaptiche sono basse, non dovrebbe verificarsi nessuna variazione di peso sinaptico. Quindi:

$$\text{se } x_j^A < \theta_{post}^{AB} \text{ e } x_i^B < \theta_{pre}^{AB} \quad \text{allora} \quad \Delta W_{j,i}^{AB} = 0 \quad (9)$$

In secondo luogo, una sinapsi non può diventare negativa (altrimenti l'eccitazione sarebbe convertita in inibizione, che non è fisiologicamente accettabile). Quindi, nel calcolare il nuovo valore della sinapsi si ha che :

$$W_{j,i}^{AB} \leftarrow (W_{j,i}^{AB} + \Delta W_{j,i}^{AB}) \cup (W_{j,i}^{AB} + \Delta W_{j,i}^{AB}) \quad (10)$$

dove il simbolo \leftarrow significa che il valore calcolato al membro di destra è assegnato al membro di sinistra, e $U(y)$ rappresenta la funzione gradino ($U(y) = 1$ se $y > 0$, $U(y) = 0$ altrimenti). In ultimo, le sinapsi non possono crescere all'infinito, ma devono raggiungere un livello massimo di saturazione. Per le sinapsi eccitatorie tra i neuroni dell'area semantica è stata usata una saturazione analoga a quella del modello di riferimento bidimensionale, ovvero, quando le sinapsi si avvicinano al loro valore massimo (indicato con W_{max}^{SS}), progressivamente si riduce il rateo di apprendimento γ^{SS} . Per cui si ha:

$$\gamma_{j,i}^{SS} = \frac{\gamma_0^{SS}}{W_{max}^{SS}} (W_{max}^{SS} - W_{j,i}^{SS}) \quad (11)$$

dove γ_0^{SS} è il massimo rateo di apprendimento (cioè il rateo quando la sinapsi è zero) .

Per le sinapsi eccitatorie dalla rete semantica alla rete lessicale ($W_{j,i}^{LS}$ in Eq.7) c'è da considerare un ulteriore aspetto. Si vuole che una unità lessicale che codifica per una word-form sia eccitata, se e solo se tutte le sue corrispondenti proprietà salienti sono attive nella rappresentazione semantica, indipendentemente dal numero delle proprietà salienti, ovvero, alcune parole possono avere tre proprietà salienti, altre possono averne cinque, e così via. Nel primo caso tre neuroni dell'area semantica sono sufficienti per eccitare la word-form; nel secondo caso ne sono necessari cinque. Per garantire questo, si assume che la somma delle sinapsi che entrano in una word-form non possa superare un livello massimo. Quindi, la seguente regola è utilizzata per aggiornare le sinapsi $W_{j,i}^{LS}$:

$$\Gamma_j^{LS} = \sum_i (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) \quad (12)$$

$$W_{j,i}^{LS} \leftarrow \begin{cases} (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) & \text{se } \Gamma_j^{LS} \leq \Gamma_{max} \\ (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) \cdot \Gamma_{max} / \Gamma_j^{LS} & \text{se } \Gamma_j^{LS} > \Gamma_{max} \end{cases} \quad (13)$$

dove il simbolo Γ_j^{LS} denota la somma di tutte le sinapsi eccitatorie che entrano in una word-form alla posizione j (quindi la somma si estende a tutte le unità neurali i dell'area semantica). In particolare Γ_{max} è stato fissato al valore 1, ciò significa che quando questa somma è maggiore di 1, ogni sinapsi viene divisa per la somma stessa (cioè, se la somma delle sinapsi fosse 1.3 ogni sinapsi è ridotta di 1.3, e quindi la somma torna ad essere 1).

Le sinapsi inibitorie in Eq.7 sono addestrate con una regola anti-Hebbiana, cioè si indeboliscono quando sia l'attività pre-sinaptica che quella post-

sinaptica sono sopra soglia, e si rinforzano quando le attività sono invece entrambe negativamente correlate (cioè, attività di un neurone sopra soglia e attività dell'altro neurone sotto soglia). Quindi si ha:

$$\Delta V_{j,i}^{LS} = -\gamma_{inib}^{LS}(x_j^{LS} - \rho_{post}^{LS})(x_i^{LS} - \rho_{pre}^{LS}) \quad (14)$$

Certamente anche queste sinapsi non possono cambiare segno (cioè, una sinapsi inibitoria non può essere convertita in una sinapsi eccitatoria), quindi vale in modo analogo l'eq. 10. Ogni sinapsi inibitoria è saturata al valore +1, (nei grafici che saranno mostrati, viene presentata la differenza $W_{j,i}^{LS} - V_{j,i}^{LS}$, quindi la saturazione della singola sinapsi inibitoria diventa uguale a -1 quando la sinapsi eccitatoria è 0).

Tutte le regole di addestramento descritte in precedenza sono applicate nelle condizioni finali di stazionarietà, circa 20ms dopo la presentazione dell'input, per evitare effetti dovuti alla variazione di attività durante il transitorio.

2.3.2 Assegnazione parametri-apprendimento rete semantica

Un punto fondamentale per realizzare un processo di formazione corretta riguarda la scelta dei valori appropriati per le soglie pre-sinaptica e post-sinaptica della regola di Hebb. Per quanto riguarda la rete semantica, perché si abbia un buon funzionamento essa deve essere in grado di riprodurre le principali caratteristiche delle feature quali: salienza e marginalità, condivisione e istintività.

Le idee alla base di questa rete sono:

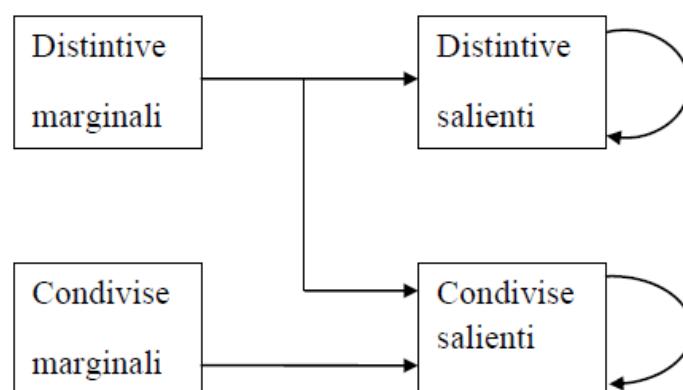
(a) le caratteristiche distintive devono essere evocate da tutte le altre caratteristiche del concetto, che sia o meno saliente, di conseguenza, essi dovrebbero ricevere forti sinapsi di input. Al contrario, essi devono inviare forti sinapsi di output solo alle altre caratteristiche salienti.

(b) le caratteristiche marginali non devono essere evocate dalle altre caratteristiche del concetto, cioè ricevono sinapsi di input deboli, ma favoriscono la ricostruzione del concetto, quindi mandano forti sinapsi di output verso le caratteristiche salienti.

(c) le caratteristiche condivise da diversi oggetti in una categoria dovrebbe ricordare tutte le altre caratteristiche salienti comuni alla categoria, ma non dovrebbero richiamare aspetti peculiari dei singoli membri. Ad esempio, la funzione "ha una coda" dovrebbe richiamare le caratteristiche comuni di categoria "animale", come "ha gli occhi", ma non dovrebbe ricordare le caratteristiche come "abbaia" o "miagola" che appartengono ai singoli concetti come "cane" e "gatto".

(d) Una caratteristica distintiva deve ricordare non solo le altre caratteristiche salienti distintive dello stesso concetto, ma anche le caratteristiche comuni dominanti. Quindi la funzione "abbaia" deve richiamare tutte le proprietà dominanti di un cane, ma anche le proprietà "mangia" e "dorme" condivise con gli altri animali.

Le precedenti condizioni sono riassunte nello schema riportato in basso :



Questo particolare comportamento delle sinapsi semantiche può essere raggiunto assumendo che la soglia per l'attività post-sinaptica sia piuttosto elevata, supponiamo $\theta_{post}^{SS} = 0,55$, mentre la soglia per l'attività

presinaptica si bassa, $\theta_{pre}^{SS} = 0,05$, vicino all'inibizione. È stato scelto un valore di poco superiore allo zero per evitare che un'attività neuronale residua, indotta all'interno delle connessioni nella rete semantica, causi indesiderato rinforzo sinaptico.

In base alle considerazioni precedenti vanno fatte alcune osservazioni. In primo luogo, qui si considera la frequenza di occorrenza come unico aspetto che caratterizza la salienza. Siamo consapevoli che questo è un limite, ma tale ipotesi è stata adottata per semplificare la nostra analisi. In secondo luogo, il livello di dominanza (vale a dire, se una caratteristica è dominante o meno in base alla sua frequenza) è strettamente correlata al valore utilizzato per la soglia post-sinaptica θ_{post}^{SS} . Più è alta questa soglia e maggiore è il livello di frequenza richiesto affinché una proprietà sia saliente. Il valore di saturazione per le sinapsi semantiche $W_{j,i}^{SS}$, è stato assunto tale che una sola proprietà distintiva sia sufficiente per riconoscere un oggetto, per esempio la proprietà “bela” è sufficiente da sola ad evocare la pecora, e a richiamare tutte le altre proprietà della pecora, naturalmente solo quelle salienti.

2.3.3 Assegnazione parametri-apprendimento rete lessicale

Le sinapsi eccitatorie dalle unità lessicali a quelle semantiche sono state addestrate con una soglia presinaptica bassa $\theta_{pre}^{SL} = 0.05$ e una soglia post-sinaptica $\theta_{post}^{SL} = 0.55$. La soglia per le sinapsi eccitatorie dalle unità semantiche verso una parola è stata data a seguito di un ragionamento analogo, ma con un ruolo opposto per le soglie presinaptiche e post-sinaptiche ($\theta_{post}^{LS} = 0.05$; $\theta_{pre}^{LS} = 0.55$). In altre parole, la soglia per la word-form è sempre vicina allo zero, e la soglia per l'unità semantica è sempre 0,55, indipendentemente dal fatto che il neurone sia presinaptico o post-sinaptico. Ciò significa che una parola deve essere attiva per garantire

l'apprendimento. Poi la sinapsi è rafforzata quando la feature corrispondente è presente nella rete sinaptica, e indebolita quando la feature è assente. Di conseguenza, solo quelle caratteristiche che partecipano di frequente alla rappresentazione del concetto (caratteristiche salienti, in particolare quelli che si verificano più del 50% delle volte) sono spontaneamente collegate alla parola. A causa della mancanza di connessioni all'interno della rete lessicale, l'attività di una parola non stimolata è vicino a zero, quindi non è necessario porre una soglia sinaptica residuale per eliminare " i termini di rumore ". La formazione delle sinapsi inibitorie verso le forme verbali (apprendimento anti-Hebbiano) richiede una strategia diversa. Per inibire la parola associata a un concetto abbiamo bisogno di una caratteristica che mai (o raramente) partecipa nella semantica di tale concetto ma partecipa spesso nella semantica di altri concetti (per esempio, la caratteristica " fa freddo " dovrebbe inibire la parola " sole ", la caratteristica " abbaia " dovrebbe inibire la parola "gatto"). Queste sinapsi sono addestrate ogni volta che la proprietà è attiva nell'area semantica (che rappresenta l'unità presinaptica, quindi si assume $\rho_{pre}^{LS} = 0$ in Eq. 14). La soglia per l'attività post-sinaptica (che è la parola) ha un valore basso ($\rho_{post}^{LS} = 0.05$). In questo modo, se la proprietà e la corrispondente parola sono attive insieme, la sinapsi inibitoria viene drasticamente ridotta ($\Delta V_{j,i}^{LS} = - \gamma_{inib}^{LS} * 0.95$ in Eq.14). Ogni volta che, invece, una caratteristica è presente senza la sua parola, la sinapsi inibitoria è solo leggermente aumentata ($\Delta V_{j,i}^{LS} = + \gamma_{inib}^{LS} * 0.05$, tali sinapsi crescono molto debolmente). Il risultato finale è che le proprietà che talvolta partecipano alla presentazione del concetto (anche se non salienti) non inibiscono la parola corrispondente. Solo le caratteristiche che raramente o mai partecipano alla semantica del concetto, ma partecipano spesso alla semantica di altri concetti, inibiscono la parola.

La saturazione massima per la somma delle sinapsi eccitatorie che raggiungono una parola, Γ_{\max} in Eq. 13, è stata scelta in modo che, quando sono presenti tutte le caratteristiche salienti, l'attività del neurone che codifica la parola è vicina alla saturazione superiore, ma è sufficiente che manchi una sola delle proprietà salienti per inibirela completamente.

2.4 Apprendimento con soglia variabile

Abbiamo pensato di inserire all'interno del modello semantico una regola di apprendimento che si adatti automaticamente alla statistica delle proprietà date in input, con una soglia post-sinaptica in grado di aumentare quando la combinazione fra le due proprietà (pre-sinaptica e post-sinaptica) si presenta più frequentemente; viceversa la soglia rimane al valore basale ($\theta_{post}^{AB} = 0.55$) nel caso contrario. La motivazione di questa scelta è di evitare che delle proprietà condivise che ricorrono di frequente (come ad esempio la proprietà “vola” per gli uccelli, che si verifica per molti membri della categoria) sia automaticamente attribuita all'intera categoria, anche quando non presente in alcuni membri della categoria stessa (come, ad esempio, la gallina). In altri termini, il concetto di salienza (regolato dalla soglia post-sinaptica) non può essere lo stesso per le proprietà distintive e per quelle condivise.

Per tenere conto di una soglia variabile, la regola di apprendimento hebbiano vista fino ad ora (eq.8) diventa:

$$\Delta W_{j,i}^{SS} = \gamma_{j,i}^{SS} (x_j^S - \theta_{ij}^{SS}) (x_i^S - \theta_{pre}^{ASS}) \quad (15)$$

dove θ_{ij}^{SS} rappresenta la soglia variabile ed ha un valore compreso tra 0.55 e 0.95.

Il valore della soglia post-sinaptica variabile è dato da:

$$\theta_{ij}^{SS} = \begin{cases} \theta_{post}^{SS} + \Delta\theta^{SS}(N_{ij} - 1) & \text{if } N_{ij} > 1 \\ \theta_{post}^{SS} & \text{if } N_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (16)$$

con $\Delta\theta^{SS} = 0.15$ (in alcune prove $\Delta\theta^{SS} = 0.30$) e N_{ij} indica il numero di volte in cui, mediamente, si è presentata la coppia ij durante tutte le epoche di addestramento fino all'epoca attuale. Di conseguenza, l'incremento della soglia è proporzionale al numero di volte in cui una coppia di proprietà si è verificata nella storia precedente. Quindi, mentre per le proprietà distintive, legate ad un unico concetto (e che ricorrono una sola volta durante un'epoca di addestramento), la soglia rimane al valore basale $\theta_{post}^{AB} = 0.55$, per le proprietà comuni (che possono verificarsi in coppia più volte durante una stessa epoca) la soglia aumenta. Ciò permette di rendere non-saliente una proprietà condivisa (ad esempio vola) che ricorre spesso in coppia con altre proprietà (ha le ali): è sufficiente che qualche uccello non voli per rendere non-saliente tale proprietà per l'intera categoria uccelli.

Inoltre, viene imposto alla soglia di non superare un valore massimo,

$\theta_{ij}^{SS} < 0.90$ (in alcuni modelli è stato imposto a 0.95).

Capitolo 3

3. METODO

3.1 Scelta dei dati

Le simulazioni presentate in questo lavoro sono state condotte utilizzando una tassonomia di concetti scelta da un database fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia dell' ospedale San Raffaele di Milano (Prof. Stefano Cappa, Dott.ssa Eleonora Catricalà).

L'intero database contiene 82 concetti, suddivisi in viventi e non viventi, e in categorie come "animali", "veicoli", "verdura". Le caratteristiche attribuite a ogni concetto sono state assegnate tramite dei test, svolti su 106 soggetti italiani suddivisi in sottogruppi omogenei per età, sesso e istruzione.

All'interno del database troviamo le seguenti voci:

- Dominance: il numero di partecipanti (tra 3 e 20) che hanno elencato una proprietà per un determinato concetto. La frequenza d'occorrenza a cui faremo riferimento durante le simulazioni viene calcolata sulla dominance;
- Frequency: il numero di concetti in cui una data caratteristica appare rispetto a tutti i concetti del database;
- Distinctiveness: misura il carattere distintivo, il numero di concetti a cui appartiene una certa proprietà semantica, diviso il numero totale di concetti nel database;
- Semantic relevance: combinazione non lineare tra la dominance e il carattere distintivo;
- Frequency category: il numero di concetti per cui una data caratteristica appare, rispetto a tutti i concetti di ciascuna categoria;

- **Distinctiveness di Garrard:** consente di determinare se una proprietà, tra i vari concetti che formano una categoria, sia o meno distintiva. Ad un valore alto corrisponde una proprietà distintiva per quel concetto, se invece, il valore è basso, la proprietà è comune a molti concetti.

è usato da tutti	cucchiaio	4	14	5,857	10,201	1	0,125
si trova in tavola	cucchiaio	4	4	20,500	17,430	4	0,500
è usato per mescolare	cucchiaio	4	1	82,000	25,430	1	0,125
è di acciaio	cucchiaio	5	5	16,400	20,178	4	0,500
è di legno	cucchiaio	7	7	11,714	24,851	2	0,250
è di plastica	cucchiaio	7	12	6,833	19,408	5	0,625
è usato per mangiare la minestra	cucchiaio	7	1	82,000	44,503	1	0,125
è un utensile	cucchiaio	8	13	6,308	21,257	6	0,750
è un oggetto	cucchiaio	9	35	2,343	11,054	8	1,000
è una posata	cucchiaio	9	3	27,333	42,953	3	0,375
si trova in cucina	cucchiaio	11	7	11,714	39,052	7	0,875
ha il manico	cucchiaio	12	13	6,308	31,885	6	0,750
è cavo	cucchiaio	12	5	16,400	48,427	4	0,500
è di metallo	cucchiaio	13	18	4,556	28,439	5	0,625
è usato per mangiare	cucchiaio	18	3	27,333	85,907	2	0,250
mediana		8					0,500
è usato con il coltello per tagliare	forchetta	3	1	82,000	19,073	1	0,125
si trova nel cassetto	forchetta	3	1	82,000	19,073	1	0,125
si trova in tavola	forchetta	4	4	20,500	17,430	4	0,500
è di legno	forchetta	4	7	11,714	14,201	2	0,250
ha tre denti	forchetta	4	1	82,000	25,430	1	0,125
è di acciaio	forchetta	6	5	16,400	24,214	4	0,500
è usato per infilzare\inforcare	forchetta	6	1	82,000	38,145	1	0,125
ha quattro denti	forchetta	6	1	82,000	38,145	1	0,125
è una posata	forchetta	7	3	27,333	33,408	3	0,375
è usato per prendere il cibo	forchetta	8	1	82,000	50,860	1	0,125
è un oggetto	forchetta	9	35	2,343	11,054	8	1,000
è un utensile	forchetta	9	13	6,308	23,914	6	0,750
si trova in cucina	forchetta	9	7	11,714	31,952	7	0,875
è di metallo	forchetta	10	18	4,556	21,876	5	0,625
è di plastica	forchetta	10	12	6,833	27,726	5	0,625
è usato per mangiare	forchetta	13	3	27,333	62,044	2	0,250
ha il manico	forchetta	14	13	6,308	37,200	6	0,750
ha i denti	forchetta	18	5	16,400	72,641	1	0,125
mediana		7,5					0,313

Fig.3.1: dettaglio del database. Nell'esempio abbiamo due concetti appartenenti alla categoria utensili da cucina. Le caratteristiche evidenziate in giallo sono quelle che cadono sulla mediana calcolata rispetto alla dominance. Le caratteristiche in grigio cadono sulla mediana calcolata sulla distinctivness_Garrard.

Per i nostri studi, su 82 concetti abbiamo utilizzato 12 animali e 12 oggetti. Per individuare quali categorie utilizzare, e quali concetti scegliere all'interno di queste categorie, abbiamo utilizzato la vicinanza semantica.

In particolare, la categoria “animali” è caratterizzata da membri con maggiore differenza semantica, mentre la categoria “oggetti” presenta membri semanticamente più vicini tra loro. Come possiamo vedere dalla Tabella 3.1, in questo esempio facciamo riferimento agli utensili da cucina, che sono una sottocategoria degli oggetti. In particolare, abbiamo preso concetti molto vicini semanticamente tra di loro, cioè che hanno molte caratteristiche in comune (es. forchetta e cucchiaio), per rendere ancora più difficile il compito che ha la nostra rete, cioè il riconoscimento di un oggetto.

UTENSILI DA CUCINA/KITCHEN ITEMS	bicchiere	bollitore	bottiglia	coltello	cucchiaino	forchetta	pentola	tazzina
bicchiere	x							
bollitore	13,65	x						
bottiglia	9,19	13,33	x					
coltello	15,55	13,50	15,68	x				
cucchiaino	13,85	11,90	14,16	13,04	x			
forchetta	14,61	12,47	14,41	13,55	8,82	x		
pentola	13,78	10,73	14,12	13,82	11,72	12,83	x	
tazzina	11,75	12,92	12,88	15,68	14,10	14,89	14,12	x

Tab.3.1 : più è basso il valore tra due concetti maggiore sarà la vicinanza semantica

3.2 Fasi di addestramento

Tutte le sinapsi sono addestrate partendo da valori iniziali nulli. Le fasi di addestramento sono due e non avvengono contemporaneamente, perché si ipotizza che l'uomo apprenda prima la rappresentazione multi-modale di un concetto e poi la colleghi alla parola corrispondente. Durante la *fase 1* la rete semantica riceve in ingresso i concetti (11/12 animali o 12 oggetti) con alcune proprietà scelte per ciascuno dal database. La rete lessicale invece non riceve alcun input (cioè, $I_j^L(t) = 0$ in Eq. 6). Questa è la fase in cui l'uomo ha un'esperienza diretta con il concetto, interagisce con esso e apprende la sua semantica, senza ancora un'associazione con il relativo termine lessicale. Se una proprietà non è percepita allora $I_j^S(t) = 0$, altrimenti $I_j^S(t) = 1$; la probabilità di verificarsi è legata alla frequenza che abbiamo attribuito alle caratteristiche. La fase 1 consiste di 1000 prove

consecutive. Durante ogni prova tutti gli oggetti sono presentati separatamente in un ordine casuale, quindi ogni concetto compare una volta in ogni prova, e le sinapsi $W_{j,i}^{SS}$ sono addestrate con le Eq. 8-11. Alla fine dell'addestramento le sinapsi nell'area semantica hanno raggiunto un valore che è mantenuto fisso durante tutta la fase 2.

Nella *fase 2* di addestramento, sono presentate come input alla rete lessicale le parole, insieme con le corrispondenti proprietà nella rete semantica, quindi le sinapsi che collegano gli aspetti lessicali e semantici (cioè, $W_{j,i}^{SL}$, $W_{j,i}^{LS}$, $V_{j,i}^{SL}$, in Eq. 5 e 7) sono addestrate attraverso le Eq. 8-10, 12-14. Questa fase consiste di 600 prove, ma stavolta durante ogni prova sono presentati tutti i concetti con le loro proprietà, insieme alla parola associata alla rappresentazione individuale (ad esempio viene presentato il concetto “cane” con le proprietà “abbaia”, “scodinzola” ecc.. insieme alla parola “cane”). Oltre ai concetti sono presentate anche le categorie individualmente, ognuna caratterizzata dalle rispettive proprietà insieme alla parola corrispondente (ad esempio viene data la categoria “animale” con le sole proprietà “mangia” e “dorme”). Quindi in totale, durante ogni prova, sono presentate sia le parole associate ai concetti che quelle associate alle categorie. Ora l'input $I_j^L(t) = 1$ eccita le unità lessicali. Nel far apprendere le categorie, in questa fase si ipotizza una sorta di addestramento scolastico, come se ci fosse un maestro che insegna a un bambino che ad esempio l'animale ha le proprietà “mangia” e “dorme” (ciascuna presentata con la propria percentuale di occorrenza), e il bambino si costruisce un'idea del concetto di animale.

Alla fine della fase 1 le proprietà salienti di ciascun oggetto sono evocate automaticamente anche in assenza di una di queste, grazie alle sinapsi auto-associative che si realizzano tra i neuroni dell'area semantica. Quindi, ad esempio, se la rete ha già imparato a riconoscere come è fatto il “cane”,

anche se non riceve più in input una delle proprietà salienti che lo caratterizzano, è in grado di recuperarla da sola. Di conseguenza, tutte le proprietà salienti sono associate alla corrispondente parola dopo la fase 2.

Capitolo 4

4. PRIMO MODELLO

4.1 Tassonomia primo modello

Il primo modello usa una tassonomia di 11 animali. Nello schema in fig.4.1 possiamo vedere come la descrizione di ogni animale si avvalga di proprietà condivise, che consentono la formazione di categorie (uccelli, mammiferi e erbivori), e di altre proprietà tipiche di ciascun animale, quindi distintive. Mentre caratteristiche come “mangia” e “dorme”, comuni a tutti gli animali vanno a formare la supercategoria “animale”.

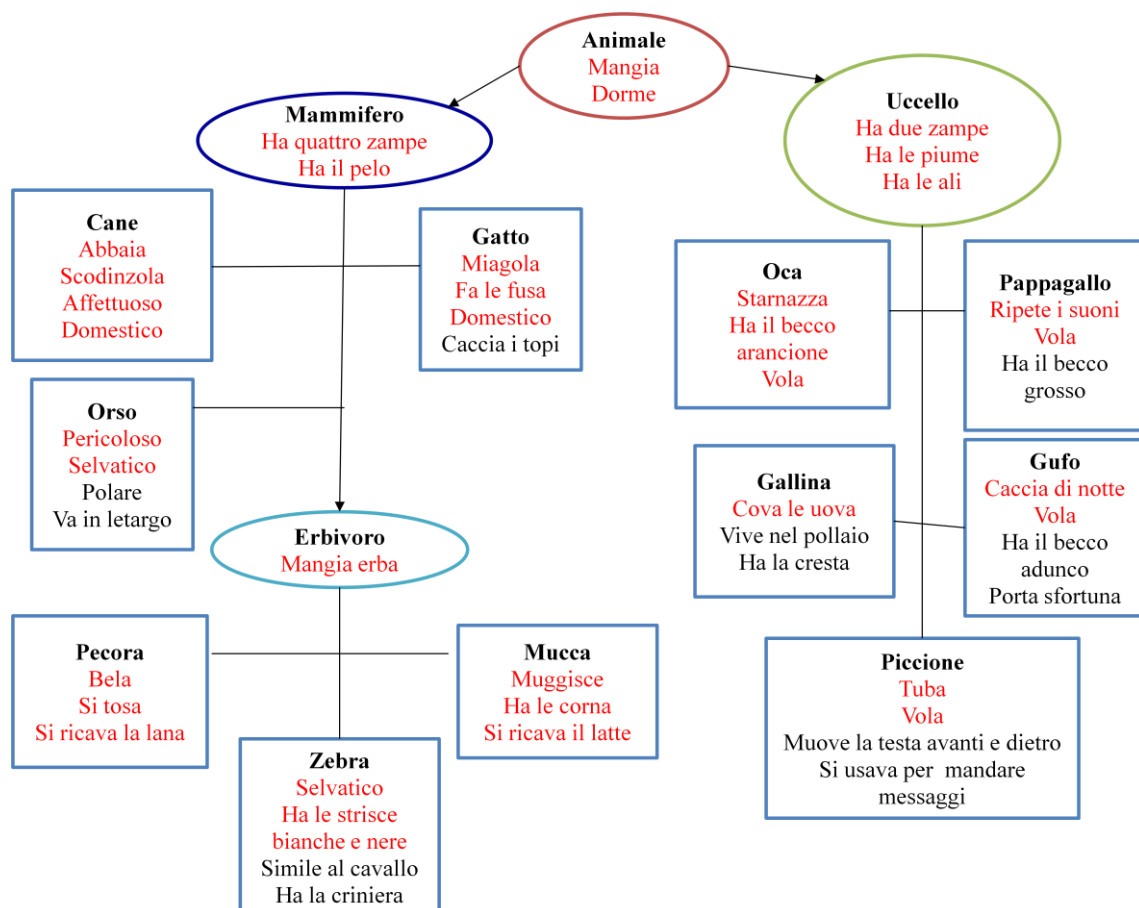


Fig.4.1: tassonomia utilizzata nel primo modello con 11 animali. Sotto ogni animale troviamo elencate le caratteristiche distintive, di cui quelle in rosso salienti, quelle in nero marginali. Le caratteristiche comuni si trovano all'interno delle categorie che vanno a formare.

La salienza delle caratteristiche è determinata unicamente dalla frequenza con cui si verificano (cioè, la frequenza con cui una proprietà è presente come input quando un oggetto è usato durante la fase di addestramento per essere appreso). Questa frequenza, comparata con la soglia usata nella regola di addestramento semantico $\theta_{post}^{SS} = 0.55$ (per il modello a soglia fissa) oppure $\theta_{ij}^{SS} = 0.55 \div 0.95$ (per il modello a soglia variabile), determina se una proprietà può essere considerata saliente oppure no. All'interno della Tabella 4.1 sono riportate, vicino alle proprietà, le percentuali di occorrenza e la posizione che occupano all'interno della rete.

proprietà	percentuali	posizione
mangia	60%	2
dorme	60%	3
Haquattrozampe	70%	4
hailpelo	60%	5
domestico	60%	6
abbaia	70%	7
scodinzola	60%	8
affettuoso	60%	9
miagola	70%	10
falefusa	60%	11
cacciaitopi	30%	12
sitosa	60%	13
bela	60%	14
mangiaerba	60%	15
siricavalalana	60%	16
muggisce	60%	17
halecornia	60%	18
siricavaillatte	70%	19
selvatico	60%	20
pericoloso	60%	21
vainletargo	40%	22
polare	30%	23
similealcavallo	30%	24
halestriscebiancheenere	70%	25
halacriniera	20%	26
haduezampe	70%	27
halepiume	70%	28
haleali	70%	29
vola	70%	30
hailbeccogrosso	30%	31

ripeteisuoni	60%	32
starnazza	60%	33
hailbeccoarancione	60%	34
covaleuova	60%	35
vivenelpollaiolo	40%	36
halacresta	40%	37
hailbeccoadunco	60%	38
cacciadinotte	60%	39
portafortuna	30%	40
tuba	60%	41
muovela testa avanti e dietro	40%	42
si usa il vapore per mandare messaggi	40%	43

Tab.4.1: nella prima colonna abbiamo le proprietà utilizzate, nella seconda sono riportate le percentuali di occorrenza di ogni proprietà e nella terza colonna la posizione relativa a ciascuna unità semantica che codifica per una proprietà.

Concetto/parola	proprietà	posizione
cane	2,3,4,5,6,7,8,9	1
gatto	2,3,4,5,10,11,12	2
pecora	2,3,4,5,13,14,15,16	3
mucca	2,3,4,5,15,17,18,19	4
zebra	2,3,4,5,15,20,24,25,26	5
orso	2,3,4,5,15,20,21,22,23	6
pappagallo	2,3,27,28,29,30,31,32	7
oca	2,3,27,28,29,30,33,34	8
gallina	2,3,27,28,29,35,36,37	9
gufo	2,3,27,28,29,30,38,39,40	10
piccione	2,3,27,28,29,30,41,42,43	11
mammifero	2,3,4,5	12
uccello	2,3,27,28,29	13
animale	2,3	14
erbivoro	2,3,4,5,15	15

Tabella 4.2: oggetti usati nella tassonomia. Nella prima colonna sono riportati i nomi dei concetti e quindi la parola associata ad ogni unità lessicale. Nella seconda colonna ci sono tutte le proprietà associate ad ogni oggetto, riportate sotto forma di posizione all'interno della rete semantica. Nella terza colonna sono riportate le posizioni corrispondenti a ciascuna parola nella rete lessicale.

4.1.1 Parametri

Nelle tabelle 4.3 e 4.4 presentate in basso, riporto i valori numerici dei parametri, sia per la rete semantica che per la rete lessicale:

<i>Significato</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Valore Soglia fissa</i>	<i>Valore Soglia variabile</i>
costante di tempo	τ	3 ms	3 ms
Pendenza sigmoide	p	40	100
Posizione sigmoide	ϕ	0.55	0.55
Soglia post-sinaptica SS	θ_{post}^{SS}	0.55	0.55÷0.90
Soglia pre-sinaptica SS	θ_{pre}^{SS}	0.05	0.05
Rateo apprendimento SS	γ_0	0.04	0.05
Massima forza sinaptica SS	W_{max}	0.8	0.8

Tab.4.3: valori dei parametri per l'addestramento della rete semantica.

<i>significato</i>	<i>simbolo</i>	<i>valore</i>
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide al punto centrale	p	50
Posizione sigmoide	ϕ	0.55
Soglia post-sinaptica SL	θ_{post}^{SL}	0.55
Soglia pre-sinaptica SL	θ_{pre}^{SL}	0.05
Rateo apprendimento SL	γ^{SL}	0.01
Massima forza sinaptica SL	W_{max}^{SL}	0.8
Soglia post-sinaptica LS	θ_{post}^{LS}	0.05
Soglia pre-sinaptica LS	θ_{pre}^{LS}	0.55
Rateo apprendimento LS	γ^{LS}	0.01
Somma massima delle sinapsi LS	Γ_{max}	1

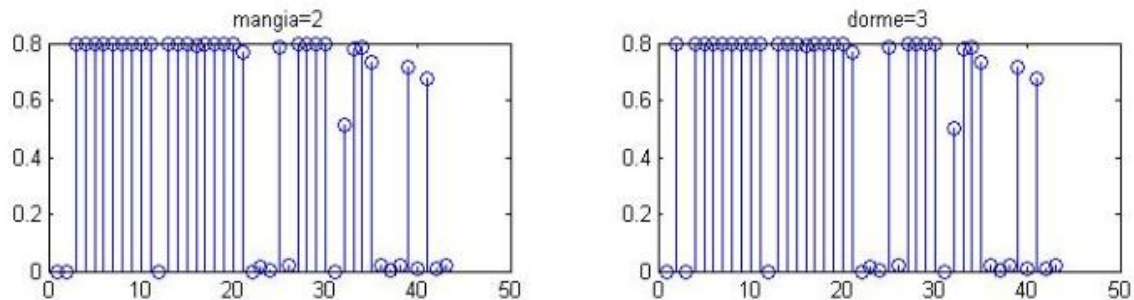
Tab.4.4: valori dei parametri per l'addestramento della rete lessicale, sono uguali sia per l'addestramento con soglia fissa che con soglia variabile.

4.2 Risultati – soglia fissa

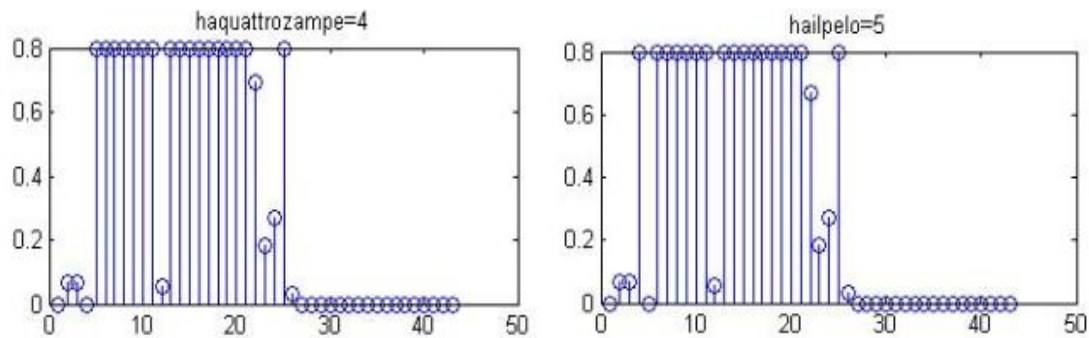
4.2.1 Addestramento semantico – fase 1

I grafici mostrati di seguito riguardano la prima fase di addestramento, quindi le simulazioni fatte all'interno dell'area semantica tra neuroni che codificano per diverse features. Per la lettura dei grafici è possibile rifarsi all'elenco delle proprietà in Tabella 4.1.

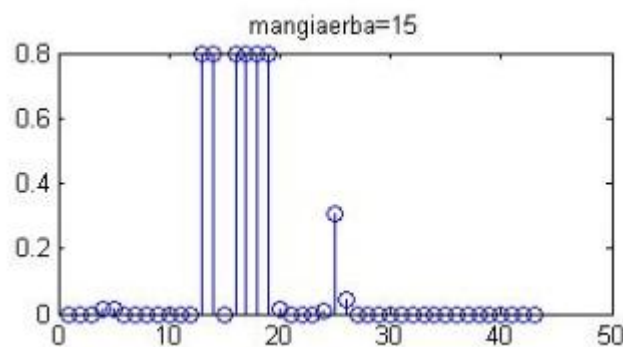
Ogni figura rappresenta la forza delle sinapsi che entrano in una proprietà dagli altri neuroni dell'area semantica, dopo un addestramento di 1000 prove. In ascissa ci sono le posizioni relative a ciascuna proprietà, (in totale sono 42), in ordinata il peso sinaptico il cui valore massimo è $W_{max}^{SS} = 0.8$.



Le proprietà “mangia” e “dorme” sono proprietà salienti (60%) comuni a tutti gli animali, e formano la categoria “animale”. Quindi ricevono sinapsi da tutte le proprietà dei concetti, tranne da se stesse. Le sinapsi che arrivano dalle proprietà salienti hanno una forza maggiore. Mentre le sinapsi dalle proprietà distintive non salienti, sono più deboli perché capitano raramente, ancora meno con “mangia” e “dorme” che sono proprietà condivise con tutti.

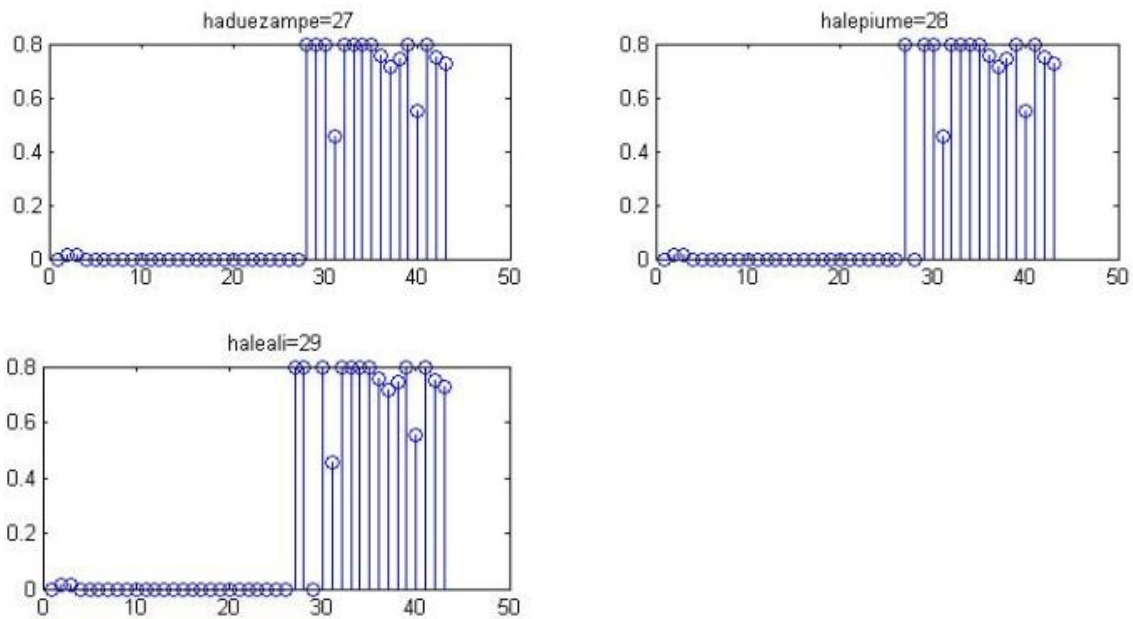


Le proprietà “ha il pelo” e “ha quattro zampe”, sono salienti (70% e 60% rispettivamente) e comuni a tutti i mammiferi, quindi determinano la formazione della categoria “Mammifero”. Le sinapsi questa volta arrivano non da tutte le proprietà dei concetti, ma solo dalle proprietà di ogni mammifero (inclusi naturalmente gli erbivori) e la forza sinaptica è sempre pesata dalla salienza. Quindi non ci sono sinapsi inviate dalle proprietà degli uccelli e possiamo notare che anche le proprietà che appartengono alla categoria “animale” creano delle sinapsi deboli, perché non tutti gli animali che mangiano e dormono hanno il pelo o quattro zampe. Le due proprietà inoltre, (“ha il pelo” e “ha quattro zampe”) si evocano a vicenda.

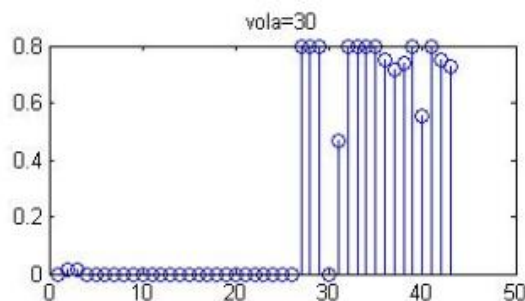


La sottocategoria “erbivori” è formata dalla proprietà saliente comune “mangia erba”, la quale riceve sinapsi soltanto dalle proprietà della zebra, della mucca e della pecora, e non riceve dalla categoria “mammifero” perché non tutti i mammiferi che hanno il pelo e hanno quattro zampe sono erbivori, e non riceve neppure dalla categoria “animale”, perché infatti non

tutti gli animali che mangiano e dormono sono erbivori. La proprietà 25 “ha le strisce bianche e nere” invia una sinapsi debole ma nel riconoscimento della zebra riesce ad evocare “mangia erba” attraverso il richiamo di altre proprietà salienti della zebra. I piccoli residui che vediamo intorno al valore zero sono trascurabili.



Queste proprietà che sono salienti, formano la sottocategoria dell’uccello. Esse si evocano reciprocamente, ricevono sinapsi da tutte le proprietà di ogni uccello, non ricevono sinapsi dalla categoria “mammifero” (né ovviamente dalle proprietà di ciascun mammifero) e neppure dalla categoria “animale”.

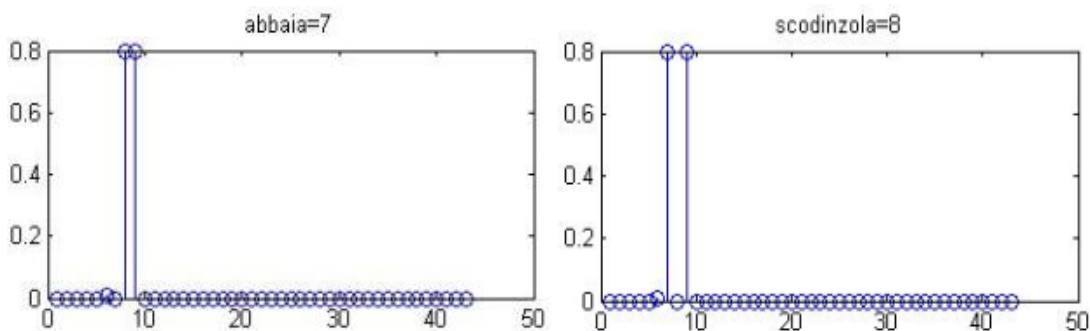


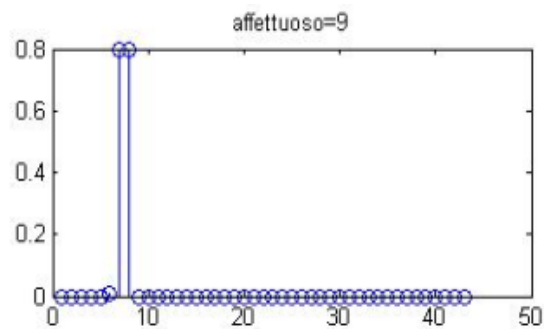
La proprietà “vola” è comune all’oca, al pappagallo, al gufo e al piccione, ma non alla gallina. Sono necessarie alcune osservazioni. Questa proprietà

infatti, dovrebbe ricevere sinapsi soltanto dalle proprietà di questi animali. Come si nota dal grafico però, le sinapsi in ingresso alla proprietà “vola”, arrivano anche dalle proprietà della gallina (che è un uccello ma non vola) e dalla categoria “uccello”. Questa situazione si può spiegare nel seguente modo: ogni volta che si presenta un volatile vengono richiamate le proprietà comuni che formano la categoria “uccello”, ovvero le proprietà “ha due zampe”, “ha le ali”, “ha le piume”. Inoltre, 4 volte su 5, ovvero l’80% delle volte, tali proprietà si verificano nell’area semantica, insieme con la proprietà “vola”. Pertanto, l’80% delle volte la sinapsi che va da “ha due zampe”, “ha le ali”, “ha le piume”, verso “vola” si rinforza, mentre solo il 20% delle volte (cioè una volta su 5, per la gallina), si indebolisce. Ne consegue che, dopo l’addestramento, le prime tre proprietà richiamano automaticamente la proprietà “vola”, che viene così attribuita alla categoria “uccello”, per cui risulta come se anche la gallina volasse.

Adesso saranno mostrati i grafici relativi alle proprietà distintive di alcuni animali. Ogni proprietà distintiva saliente, deve ricevere sinapsi solo dalle altre proprietà distintive (anche non salienti) che appartengono allo stesso concetto.

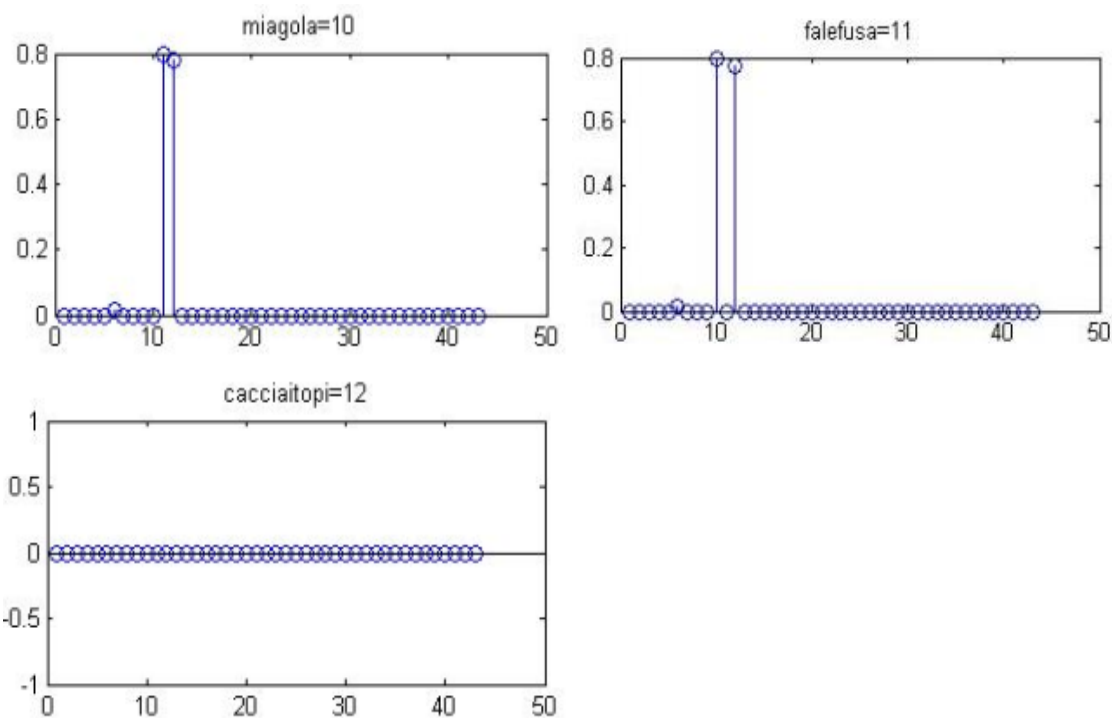
“Cane”



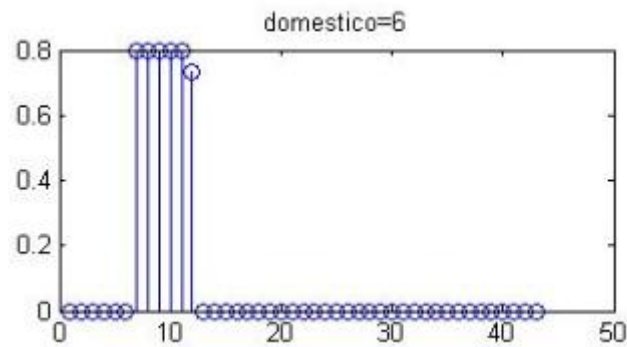


Tutte queste proprietà sono salienti, si eccitano reciprocamente e ricevono sinapsi forti in ingresso, per cui sono evocate facilmente.

“Gatto”

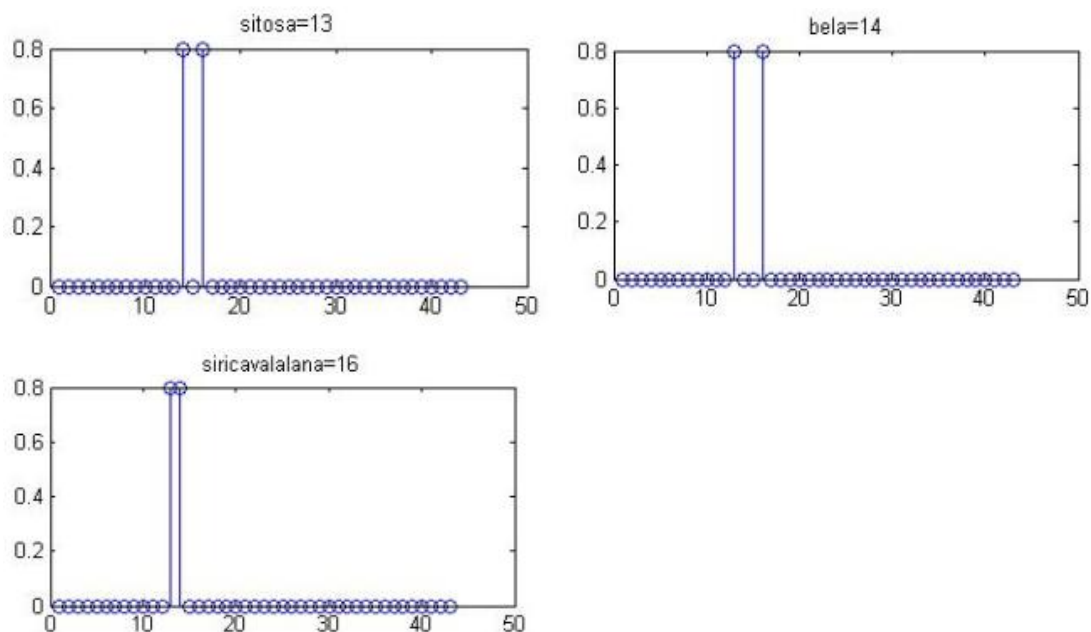


Le prime due proprietà, “miagola” e “fa le fusa”, sono salienti, dunque ricevono forti sinapsi in ingresso e sono evocate facilmente. La proprietà “caccia i topi”, invece, essendo non saliente e avendo una frequenza di occorrenza molto bassa (30%), non riceve sinapsi dalle altre proprietà distintive del gatto.



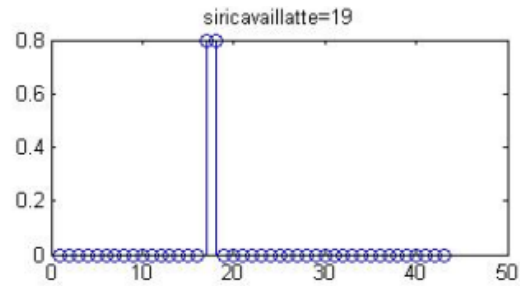
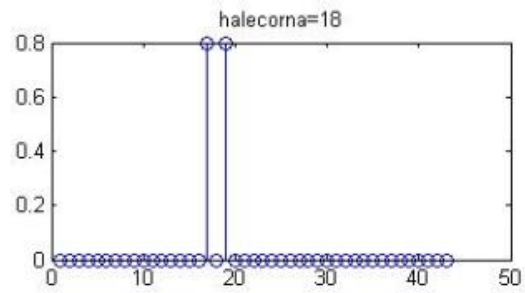
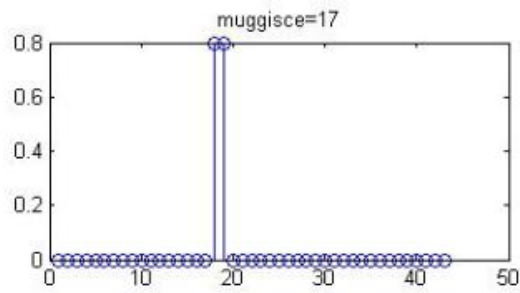
La proprietà “domestico” appartiene sia al cane che al gatto. Come si osserva dal grafico, questa proprietà distingue il cane e il gatto dagli altri mammiferi, per cui riceve sinapsi dalle proprietà distintive sia del cane che del gatto.

“Pecora”



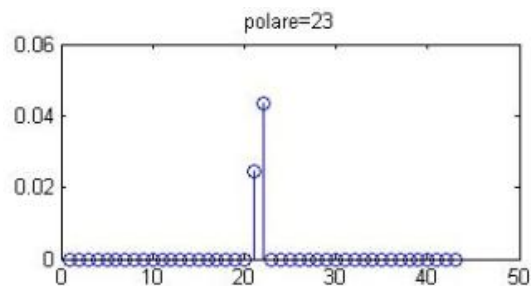
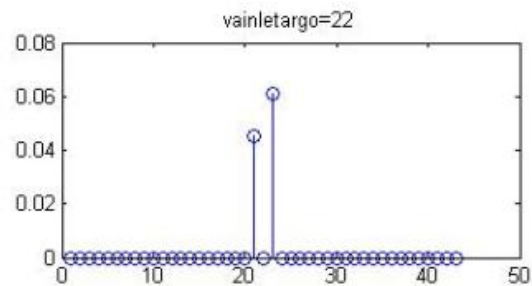
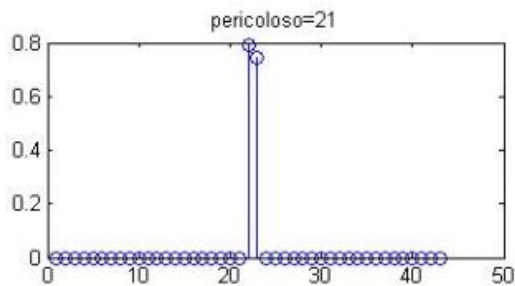
Le proprietà distintive della pecora sono salienti, ognuna evoca l'altra inviando sinapsi forti in uscita.

“Mucca”



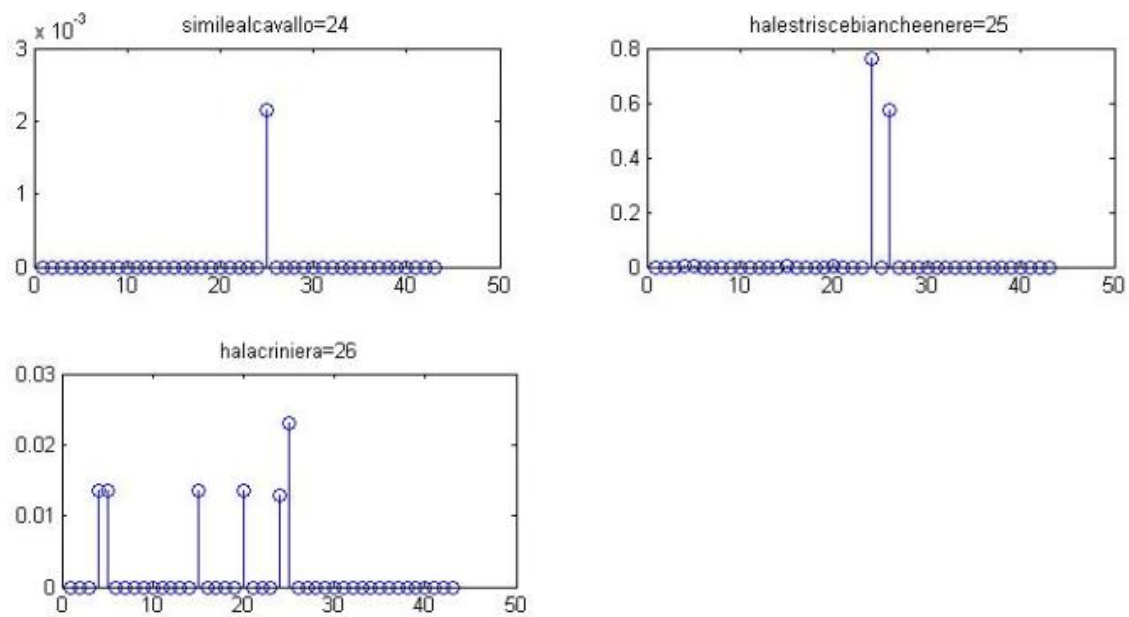
Tutte queste proprietà sono salienti, si eccitano l'una con l'altra con una forza sinaptica alta che è sufficiente per evocarle.

“Orso”

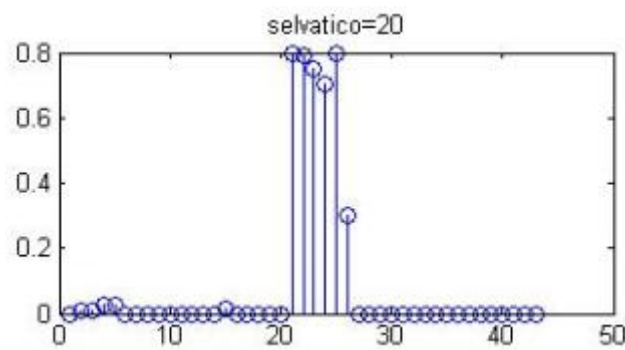


La proprietà “pericoloso” è saliente, quindi viene evocata dalle altre proprietà distintive dell'orso. Le proprietà non salienti, invece, ricevono sinapsi molto deboli, che non bastano per evocarle.

“Zebra”



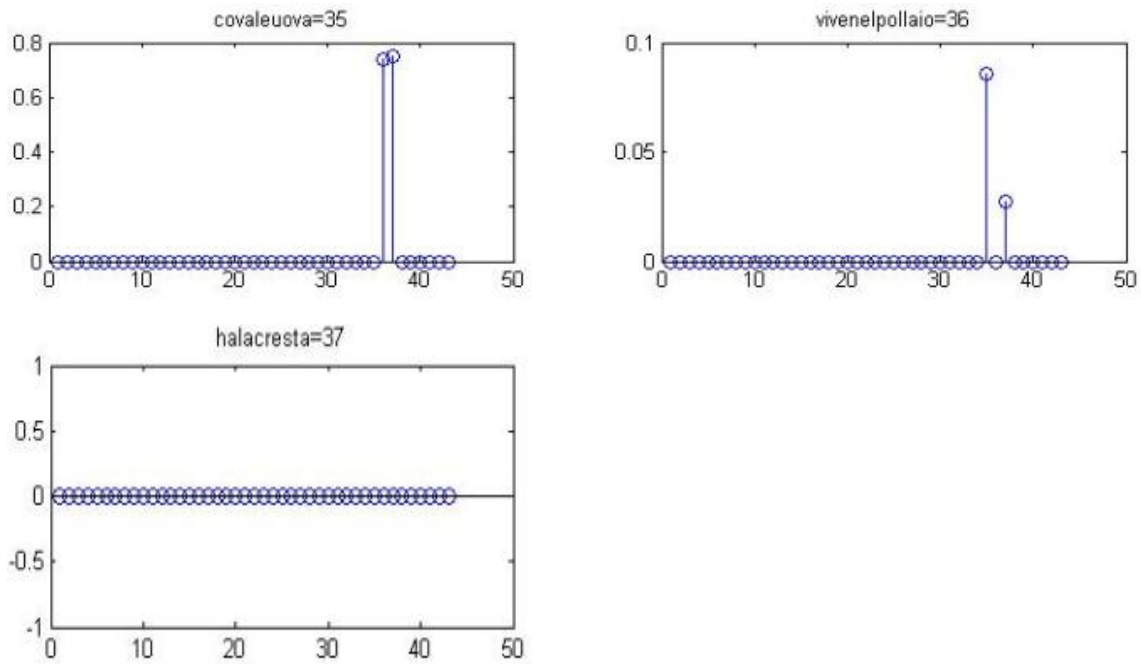
La proprietà “ha le strisce bianche e nere” è saliente, quindi riceve forti sinapsi in ingresso; le proprietà “simile al cavallo ” e “ha la criniera” hanno una frequenza di occorrenza bassa, quindi le sinapsi che ricevono sono troppo deboli per potere evocare tale proprietà.



La proprietà “selvatico” è condivisa dall’orso e dalla zebra, e analogamente alla proprietà “domestico” (nel caso del gatto e del cane), è considerata come una proprietà distintiva che distingue l’orso e la zebra dagli altri mammiferi. Essendo saliente riceve forti sinapsi in ingresso dalle proprietà distintive dei due animali.

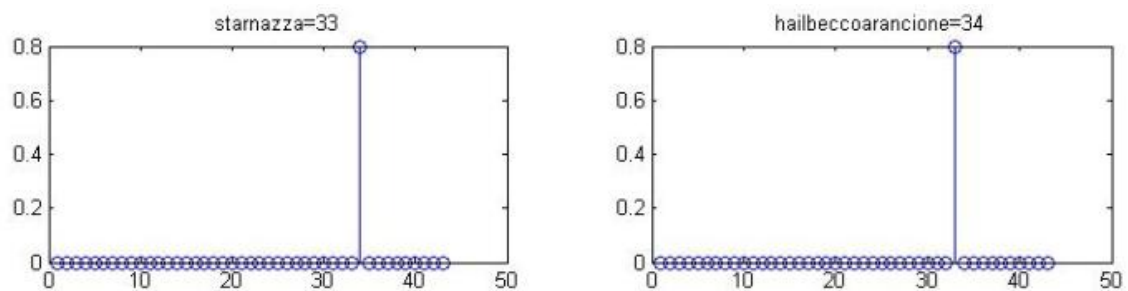
I risultati variano per la categoria degli “uccelli” che, come si può notare dallo schema in fig.4.1, hanno meno caratteristiche salienti, ciò porterà il modello ad errori nel riconoscimento tra i vari uccelli. Un ulteriore difficoltà è dovuta al numero maggiore di caratteristiche comuni rispetto a quelle distintive.

“Gallina”



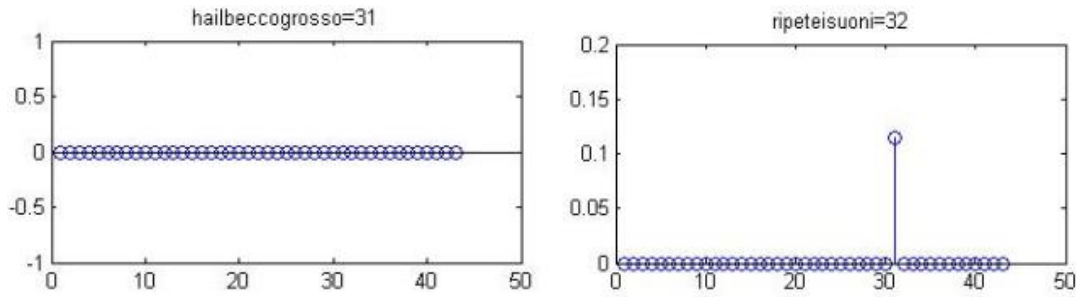
La caratteristica “cova le uova”, saliente (60%), si comporta nella norma e crea sinapsi con le altre due caratteristiche. Mentre “vive nel pollaio” e “ha la cresta”, entrambe non salienti (40%) creano sinapsi debolissime o non ne creano affatto.

“Oca”



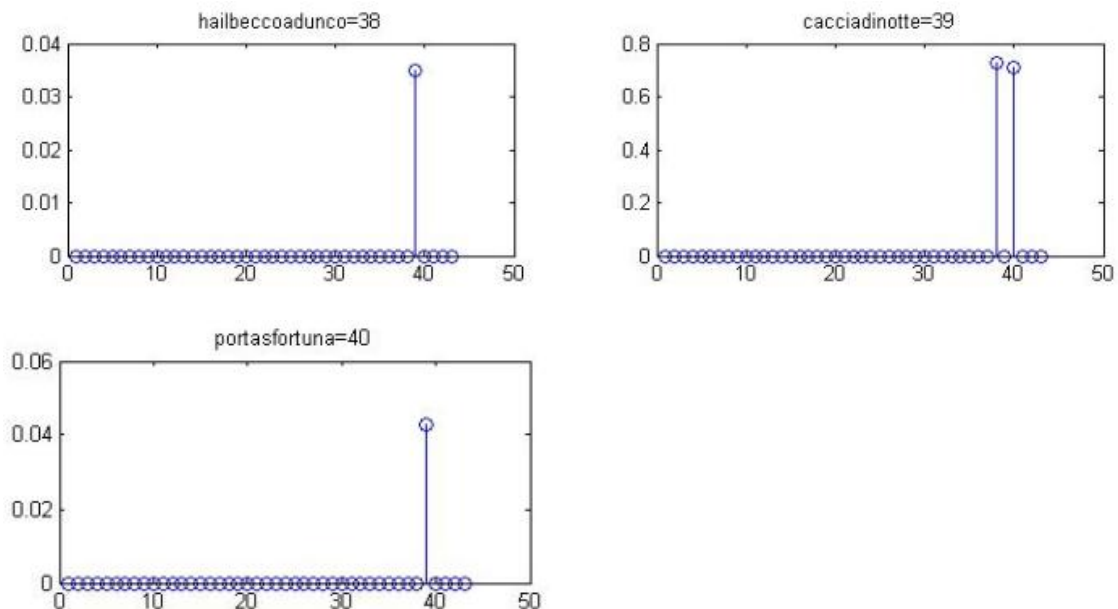
Le due proprietà sono salienti, ricevono in input sinapsi forti e si eccitano reciprocamente.

“Pappagallo”



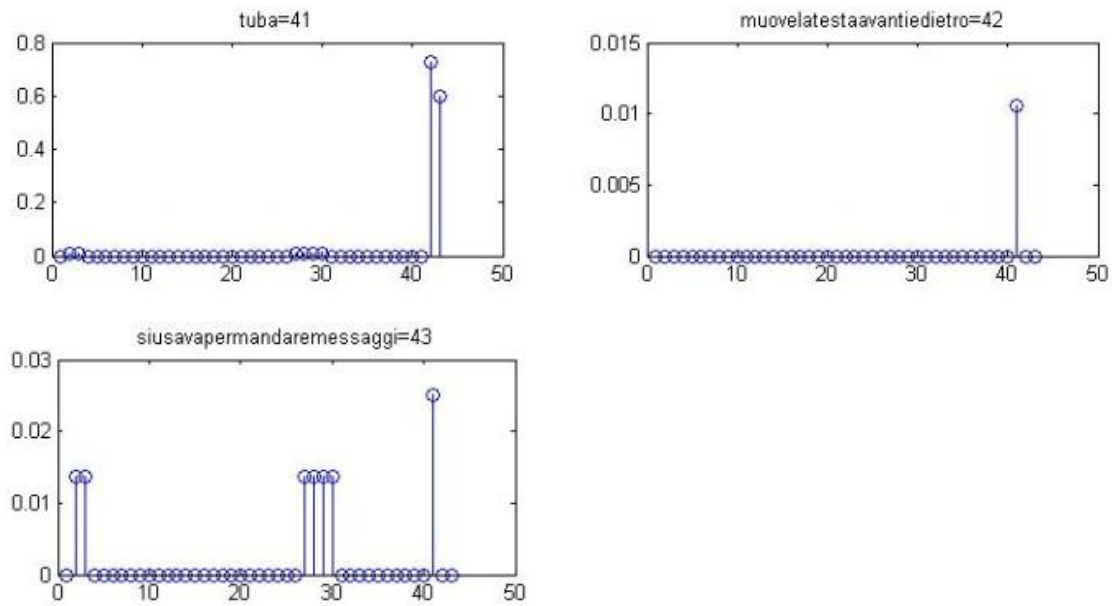
Nonostante abbiamo una caratteristica saliente “ripete i suoni” e una marginale “ha il becco grosso”, per entrambe le sinapsi che si creano sono molto deboli o non si creano affatto. Questo lo riscontreremo anche negli uccelli successivi e renderà impossibile nella *fase 2* il riconoscimento di tali animali.

“Gufo”



La proprietà “caccia di notte” è saliente, le altre essendo marginali ricevono sinapsi basse da quella saliente.

“Piccione”



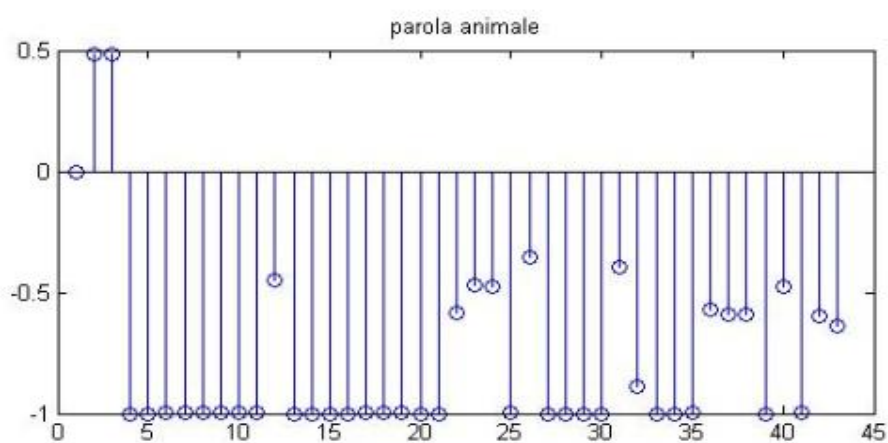
Solo la prima proprietà è saliente riceve forti sinapsi dalle le altre due proprietà.

4.2.2 Addestramento lessicale – fase 2

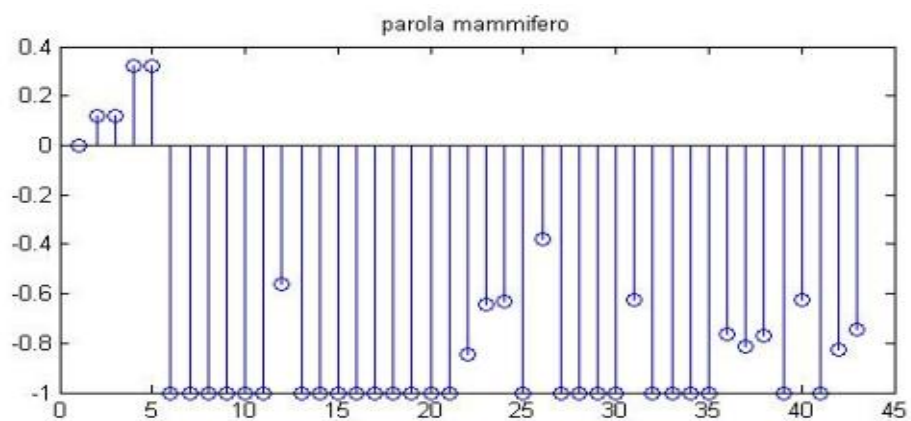
I grafici riportati sotto mostrano la forza delle sinapsi (in ordinata) che entrano in ciascuna delle 15 unità lessicali, codificanti per una parola, da ogni unità semantica (in ascissa) ciascuna codificante per una proprietà, cioè le $W_{j,i}^{LS}$.

Innanzitutto verranno mostrati i grafici che rappresentano le sinapsi in ingresso alle parole relative alle 4 categorie “Animale”, “Mammifero”, “Uccello”, “Erbivoro” :

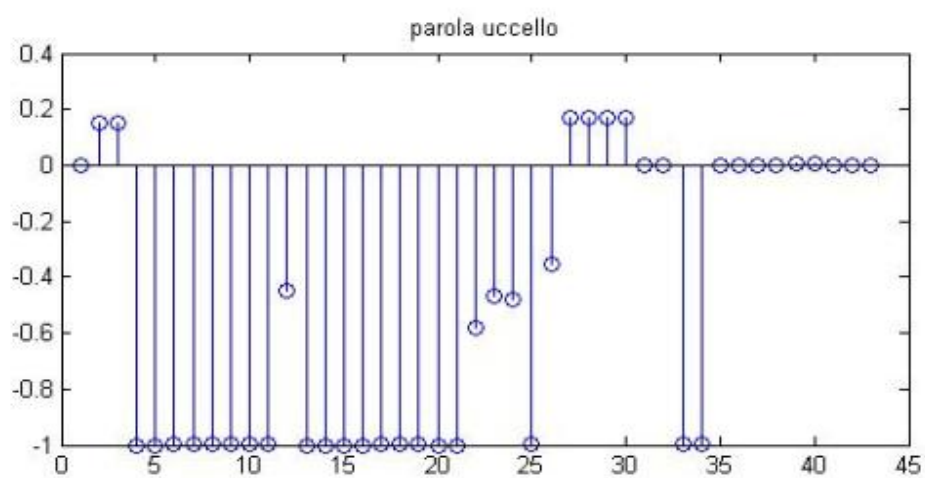
“Categoria Animale”



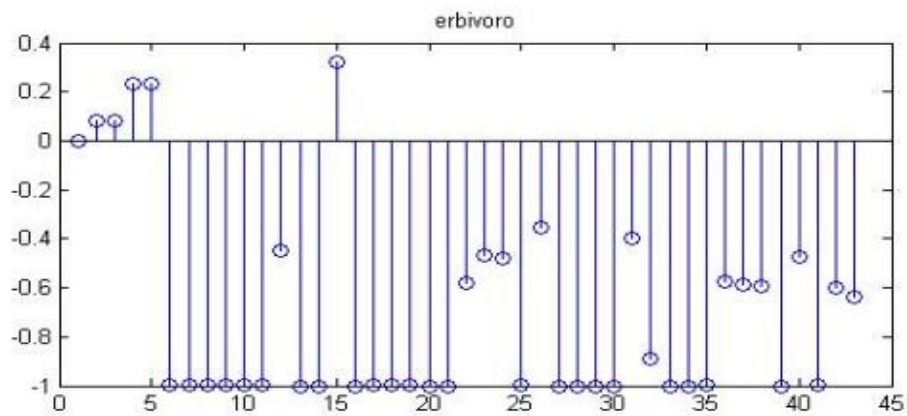
“Categoria Mammifero”



“Categoria Uccello”

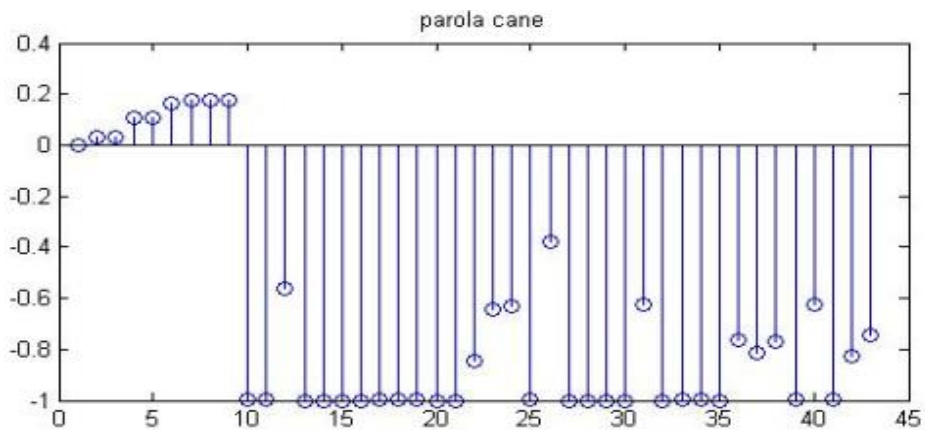


“Categoria Erbivoro”

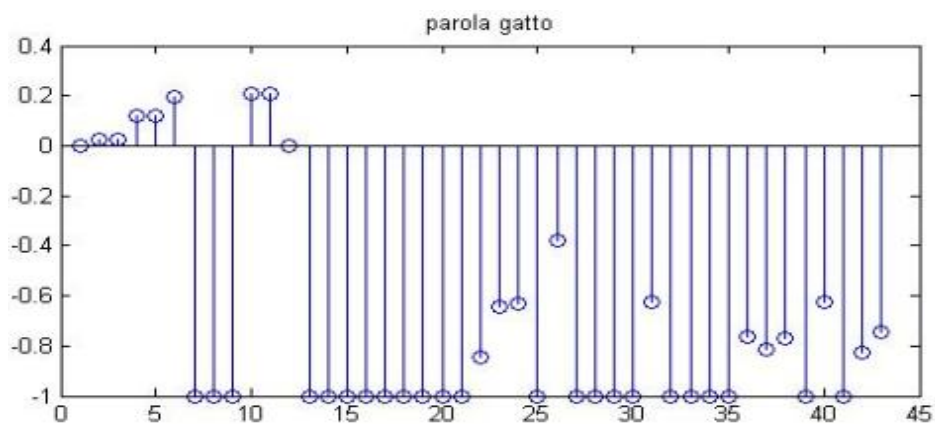


I grafici successivi invece mostrano le sinapsi entranti in ogni parola che codifica per un concetto (un animale), dalle unità semantiche :

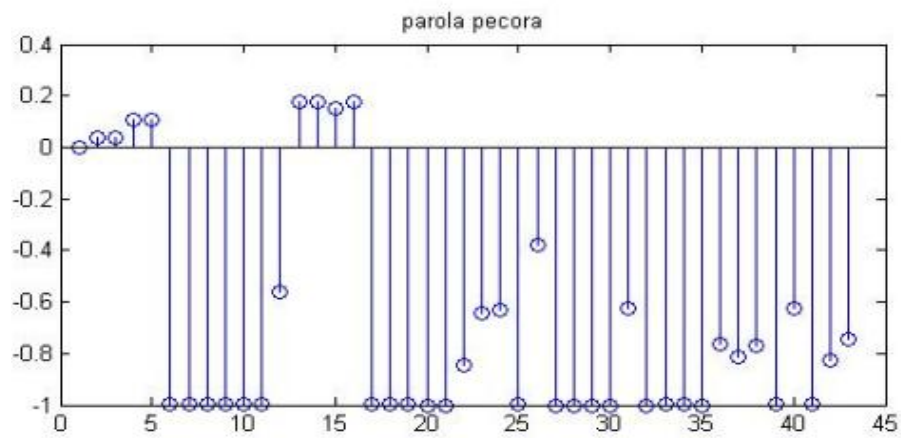
“Cane”



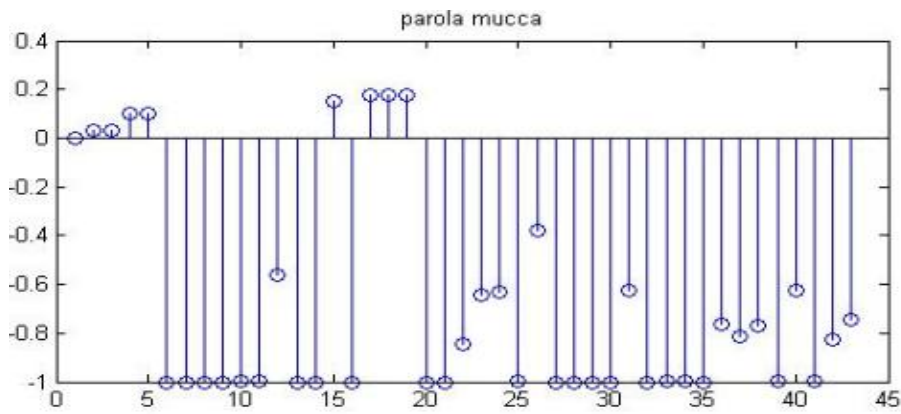
“Gatto”



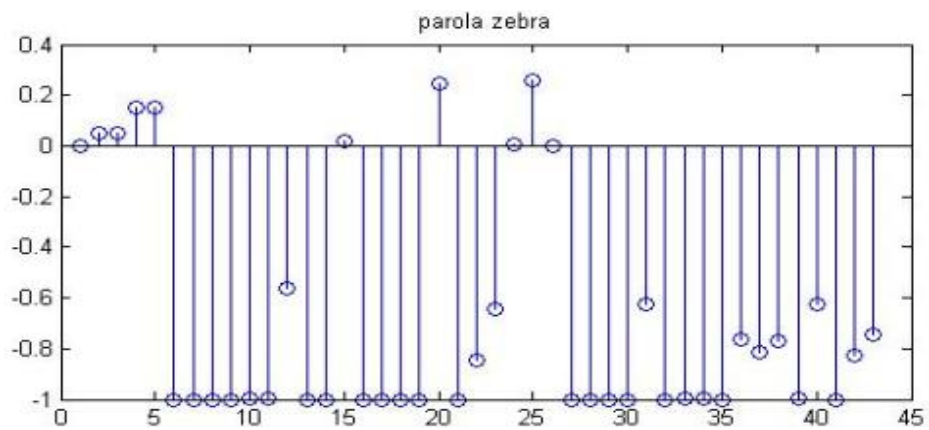
“Pecora”



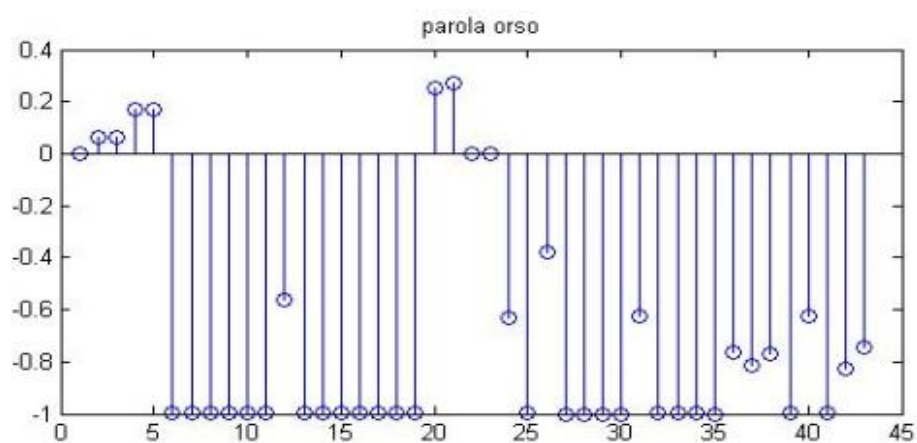
“Mucca”



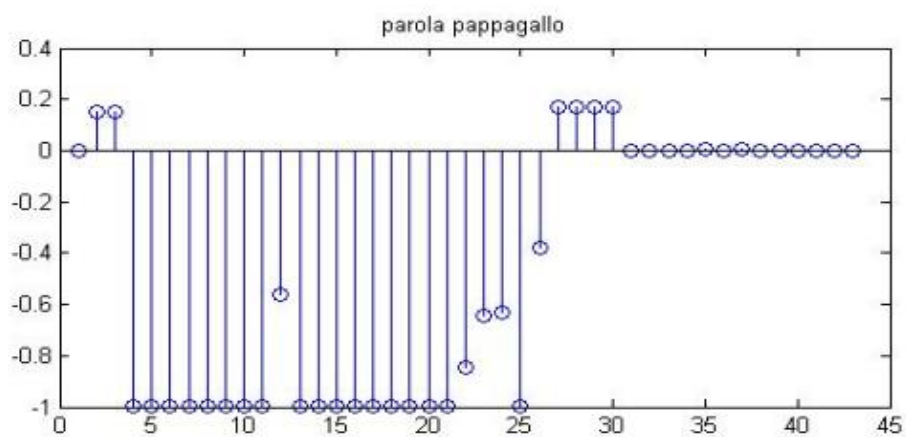
“Zebra”



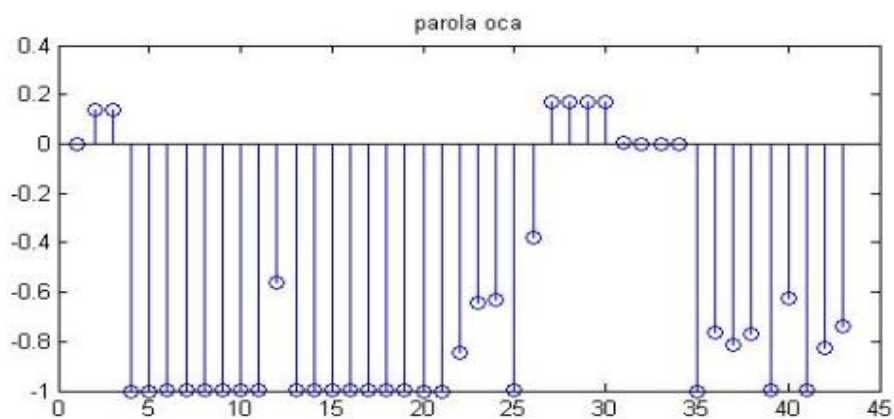
“Orso”



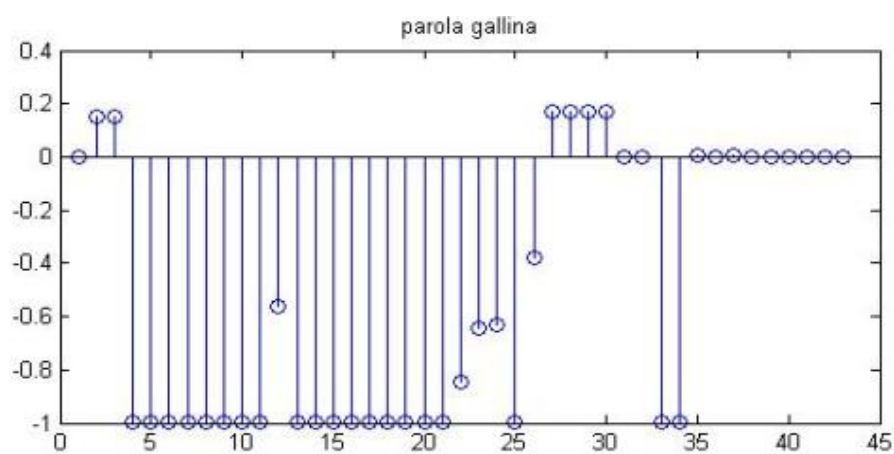
“Pappagallo”



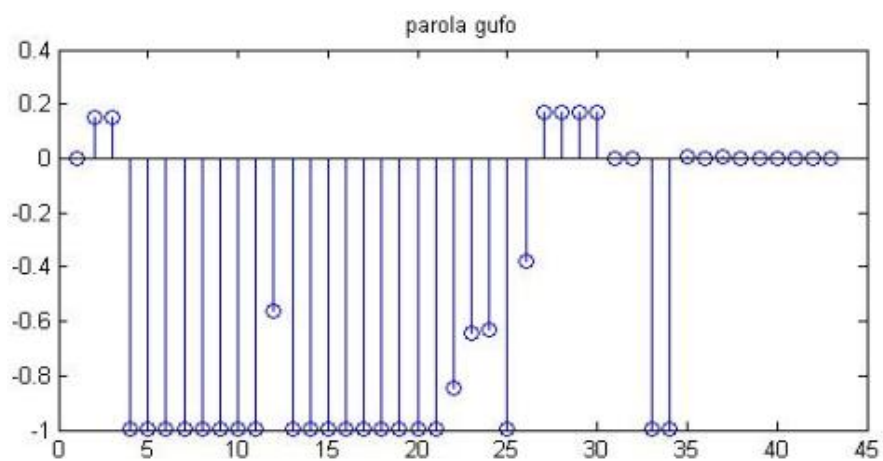
“Oca”



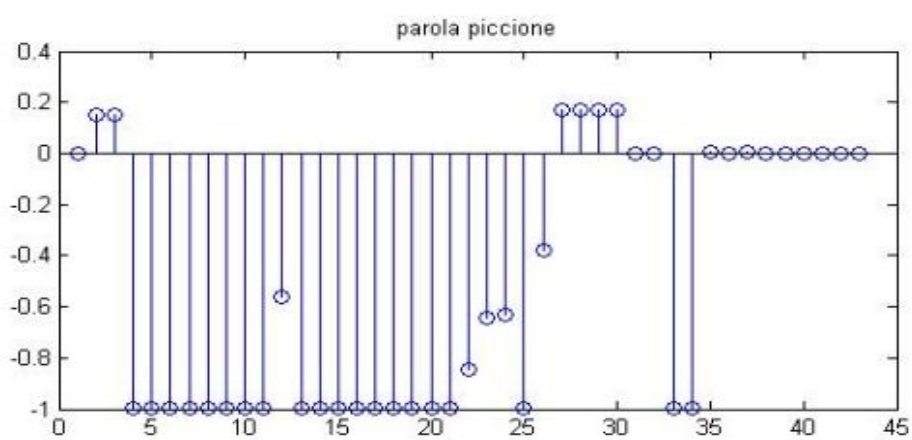
“Gallina”



“Gufo”



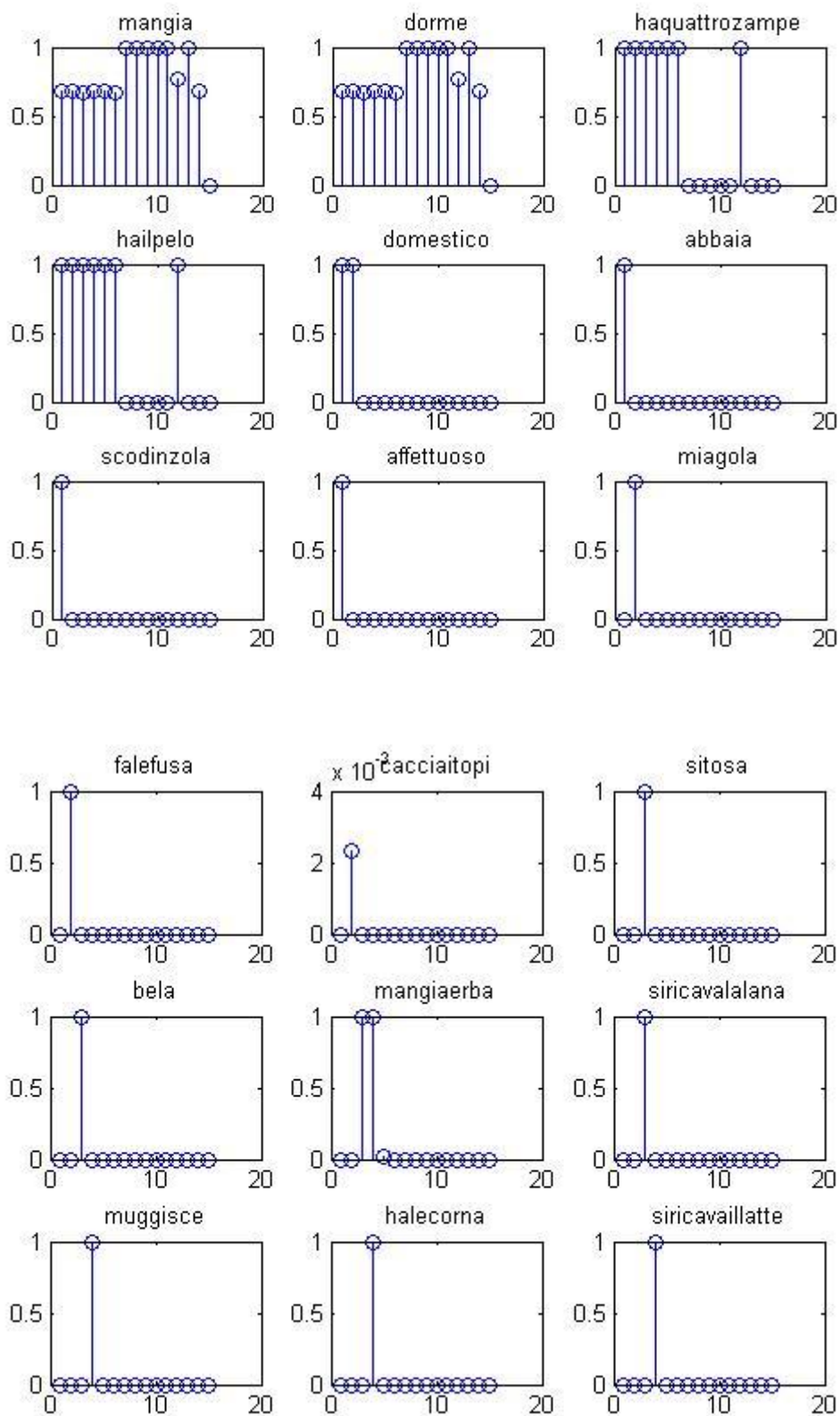
“Piccione”

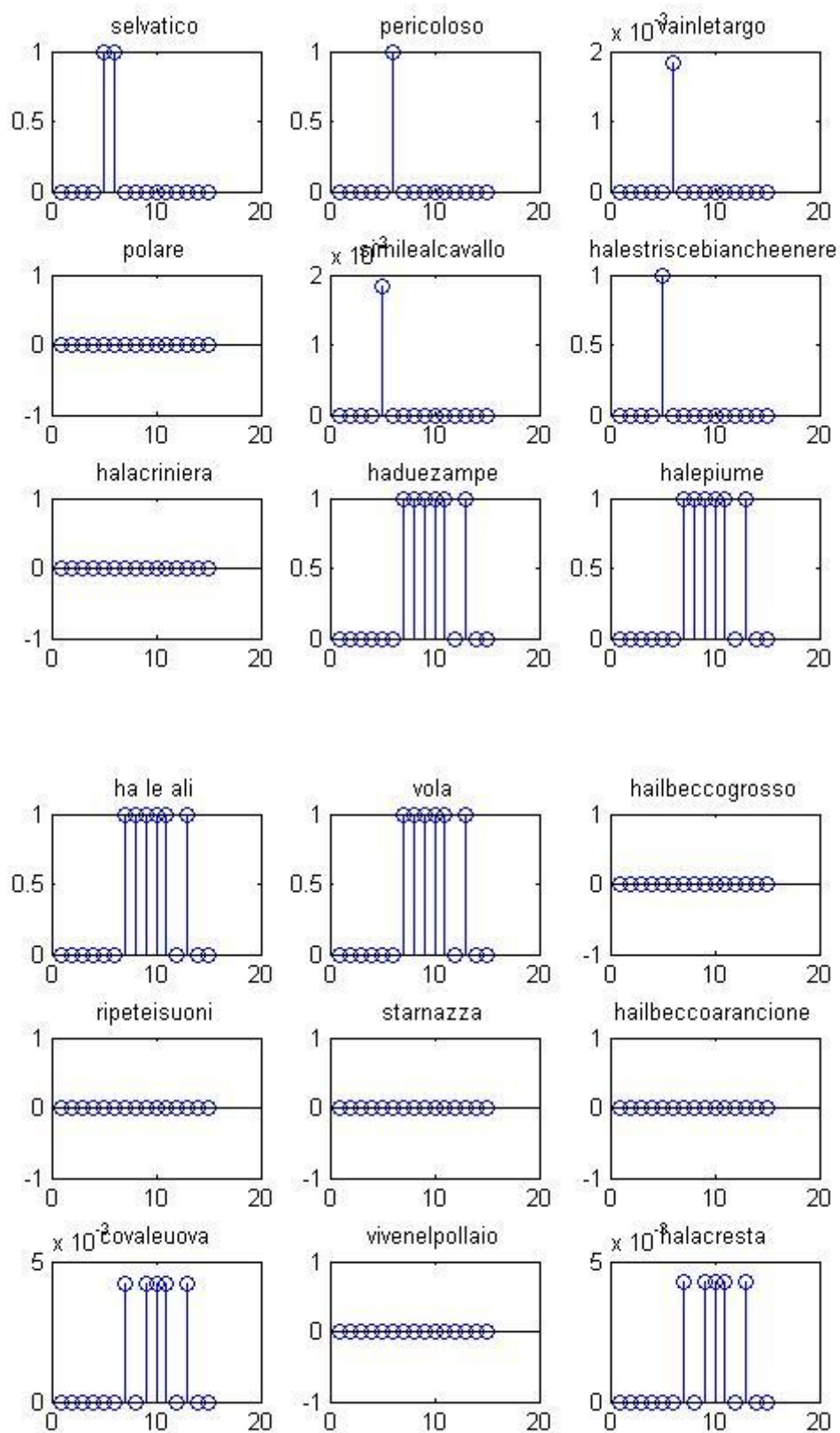


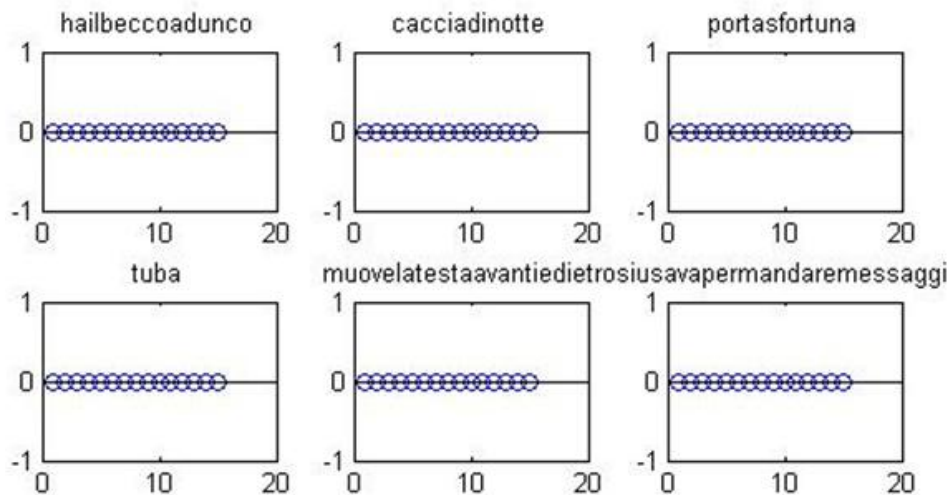
La somma delle sinapsi dalle proprietà salienti è vicina al valore Γ_{max} cioè 1, come conseguenza della normalizzazione usata in Eq. 13. Questo garantisce che tutte le proprietà salienti sono necessarie per portare ogni unità lessicale al valore di eccitazione. Infine, ogni parola è inibita da tutte le proprietà che non partecipano alla sua semantica, ma partecipano alla semantica di altre parole, (per esempio, la parola “gatto” è inibita dalla proprietà “abbaia” quando quest’ultima è attiva). Naturalmente le proprietà che capitano meno spesso delle altre, inibiscono anche meno. Le sinapsi dalle proprietà “mangia” e “dorme” sono piccole, perché ogni volta che si presentano queste proprietà con la parola “cane” ad esempio, ma non c’è la parola “orso”, le sinapsi dalla parola “orso” si indebolisce. Questo indebolimento potrebbe avere effetto se ci fossero molti più animali nella tassonomia, quindi tante volte ci sarebbe “mangia” senza la parola “orso”, e questo potrebbe indebolire troppo la sinapsi da “mangia” alla parola “orso” fino a farla scomparire. In ogni caso però le proprietà “mangia” e “dorme” non devono essere in grado da sole di evocare un animale in particolare.

Dai risultati ottenuti si evidenzia un limite importante che presenta questo primo modello. Ogni parola dovrebbe essere eccitata dalle proprietà salienti, le quali permettono un riconoscimento immediato dell’animale, per gli uccelli questo non accade. Confrontando i grafici dei 5 uccelli possiamo vedere che sono uguali, cioè le parole vengono eccitate solo dalle proprietà comuni (“ha le ali”, “ha due zampe”, “ha le piume”, “vola”). Questo comporta il mancato riconoscimento dei singoli uccelli.

I grafici che riporto nel seguito, mostrano la forza delle sinapsi $W_{j,i}^{SL}$ (in ordinata) che entrano in ognuna delle 42 proprietà dell’area semantica, dalle unità lessicali (in ascissa):







Una proprietà condivisa riceve sinapsi da tutte le parole a cui appartiene (ad esempio la proprietà “mangia” riceve da tutte le 15 parole, la proprietà “ha il pelo” riceve dalle parole che corrispondono alla categoria “mammifero” e a tutti i mammiferi ed erbivori).

Una proprietà distintiva riceve sinapsi eccitatorie solo da una singola parola. La forza delle sinapsi riflette la salienza, infatti notiamo che proprietà come “polare”, “ha la criniera” e quasi tutte quelle degli uccelli, ricevono sinapsi talmente deboli che non bastano per evocarle. La proprietà “vola” essendo attribuita a 4 uccelli su 5, riceve sinapsi dalla parola “uccello”, oltre che da tutti gli uccelli (compreso la gallina).

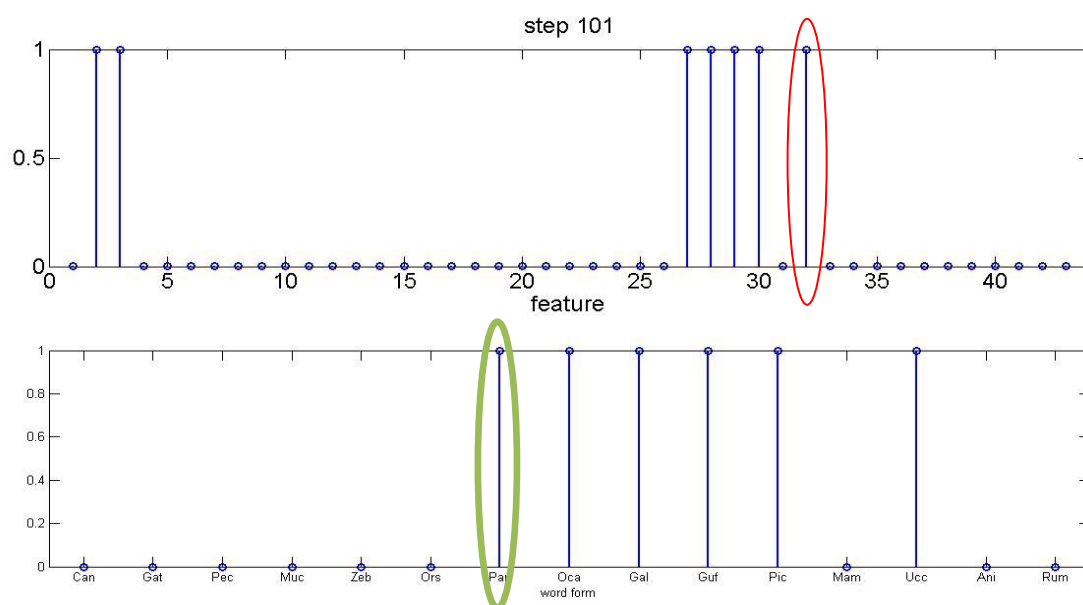
Dai risultati possiamo notare (come vedremo nel dettaglio nel prossimo paragrafo) che le proprietà distintive di alcuni uccelli (come il piccione) non vengono evocate, e quindi la parola (“piccione”) evoca solo un uccello generico.

4.2.3 Simulazioni e limiti

Il modello, una volta addestrato, viene testato attraverso delle simulazioni di compiti di denominazione dei concetti. Durante queste prove, sono state fornite in input alla rete alcune proprietà di un animale (cioè alcune proprietà sono eccitate dall’input esterno, mentre altre non sono stimulate)

e i risultati mostrano quali proprietà vengono spontaneamente evocate nella semantica grazie alle sinapsi auto-associative, e anche se e quale parola corrispondente viene evocata nell'area lessicale.

Da queste simulazioni è emerso un grosso limite di questo primo modello: infatti, se veniva data in ingresso una proprietà saliente appartenente ad un uccello, ad esempio la proprietà “ripete i suoni” (frequenza 60%) (cerchiato in rosso), ci si aspetta che venga evocata solo la parola “pappagallo” (cerchiato in verde). Ma dai risultati accade questo:

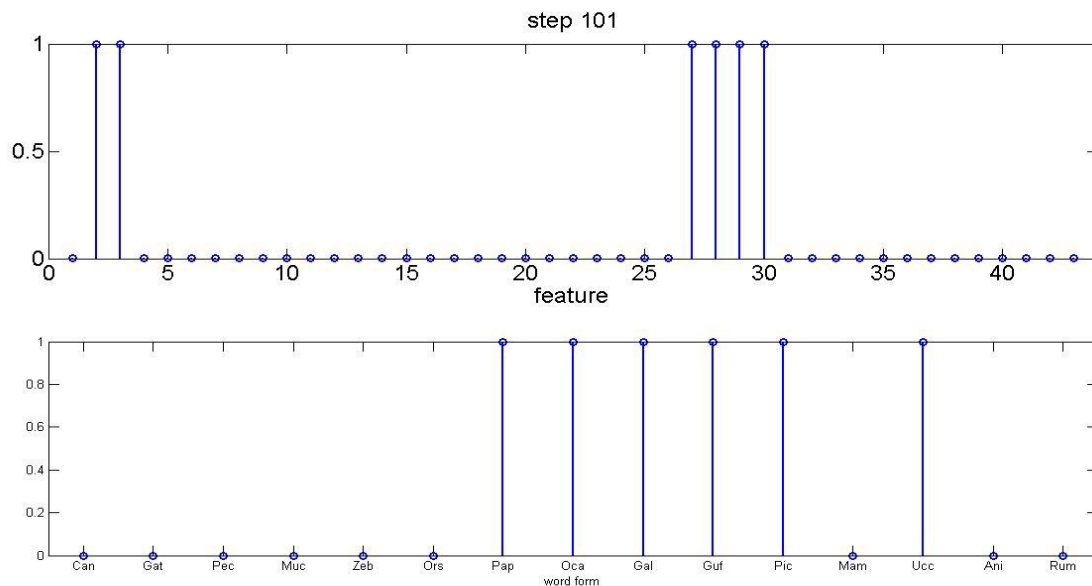


Dando in input la proprietà “ripete i suoni” vengono evocate solo le proprietà comuni a tutti gli uccelli, oltre “mangia” e “dorme”. Il modello non riesce a distinguere tra i vari uccelli, così emergono tutti. Questo problema non si verifica anche sui mammiferi perché, a differenza degli uccelli, hanno un numero di proprietà condivise minore di quelle distintive. Infatti, se i mammiferi presentano 4 proprietà condivise (mangia, dorme, ha il pelo, ha quattro zampe), gli uccelli ne presentano 5 (mangia, dorme, ha le ali, ha le piume, ha due zampe) più la proprietà “vola” che, dopo l'addestramento, viene attribuita a tutti gli uccelli, quindi una sola proprietà distintiva si è rivelata insufficiente. La soluzione di questo problema ha

portato ad uno studio sulle sinapsi $W_{j,i}^{LS}$, che vedremo in un paragrafo in seguito.

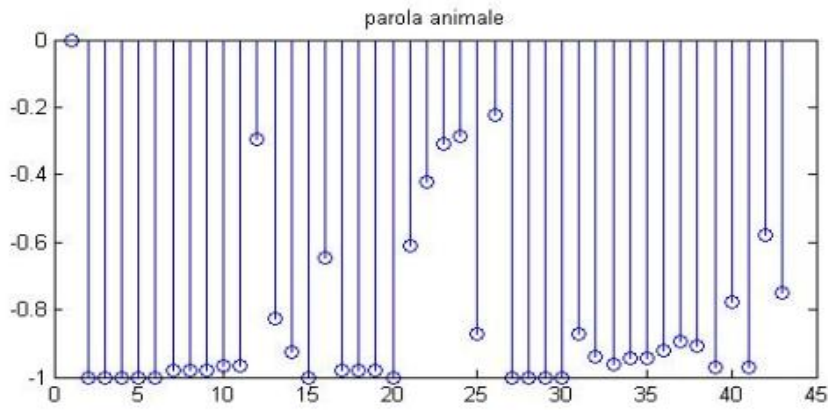
Attraverso la seconda tipologia di simulazioni (riconoscimento di parole), in cui viene stimolata una parola nell'area lessicale e si osserva quali proprietà vengono evocate nell'area semantica, sono emersi ulteriori limiti. Una parola è correttamente riconosciuta se riesce ad evocare tutte le proprietà salienti che fanno parte della sua semantica.

Stimolando la parola “gallina” ci si aspetta che vengano evocate le sue caratteristiche salienti e quelle che formano la categoria “uccello”. Quello che otteniamo invece è questo:



Cioè la parola “gallina” richiama solo le proprietà appartenenti alla categoria, che a loro volta richiamano le parole associate a tutti gli altri uccelli e alla categoria stessa. Inoltre, come già accennato precedentemente, alla “gallina” viene attribuita la proprietà “vola”.

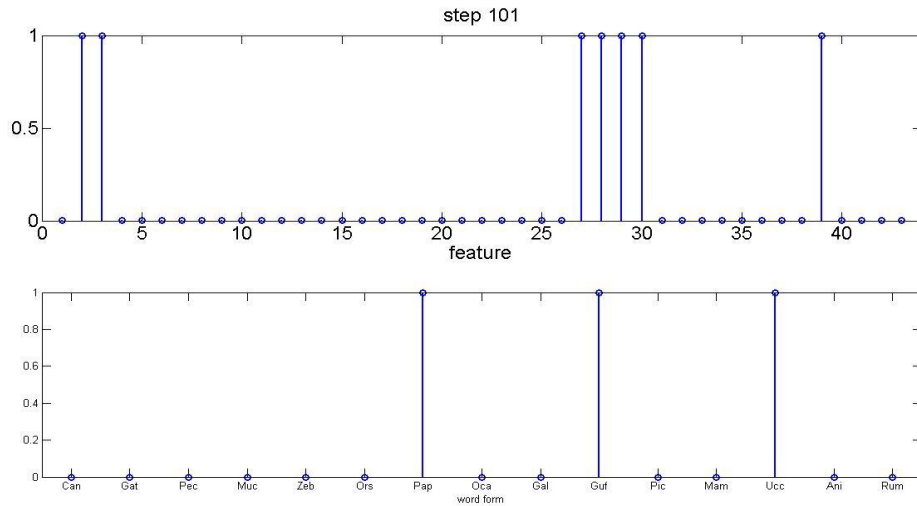
Un ulteriore problema che dava il modello era legato alla creazione delle categorie.



Inizialmente, nella seconda fase di addestramento era stato necessario dare in input la categoria “animale” due volte in ogni prova, per poter apprendere la categoria stessa con le sue proprietà “mangia” e “dorme”, altrimenti si otteneva il risultato del grafico sopra. Per ovviare a ciò, ed evitare di mettere due volte la stessa categoria, è stato necessario aumentare le frequenze di occorrenza delle due proprietà al 95% (solo per l’addestramento della categoria) e aumentare il numero di prove da 400 a 600.

4.2.4 Studio delle sinapsi $W_{j,i}^{LS}$

Per la risoluzione dei problemi, sorti durante le simulazioni di questo primo modello, è stato fatto un approfondimento sulle sinapsi $W_{j,i}^{LS}$. Tramite questo studio sono stati superati i limiti che la rete aveva nel riconoscere gli uccelli. Il problema nasceva dal fatto che, come già visto anche nel paragrafo precedente, se in ingresso veniva data una proprietà saliente come “caccia di notte”, il modello non riusciva a restituire l’animale corrispondente, in questo caso il “gufo”:



Per risolvere questo limite, siamo partiti dall'addestramento delle sinapsi, quindi dalla regola di Hebb che modifica il peso sinaptico sulla base della correlazione tra l'attività presinaptica e postsinaptica. Nel caso particolare si sono considerate le sinapsi che si creano tra semantica e lessico:

$$\Delta W_{j,i}^{LS} = \gamma (x_i^S - \theta_{pre}^{LS}) (x_j^L - \theta_{post}^{LS}) \quad (1)$$

Per la regola di Hebb, se entrambe le attività, presinaptiche e postsinaptiche sono basse, non dovrebbe verificarsi nessuna variazione di peso sinaptico. Quindi, quando sia x_j^L che x_i^S hanno valore sotto soglia, si è imposto un valore nullo per la (1) (ricordo che x_j^L è l'attività del neurone postsinaptico e x_i^S è l'attività del neurone presinaptico.).

Gli altri casi che si possono verificare invece sono riportati in tabella:

x_i^S	x_j^L	$\Delta W_{j,i}^{LS} / \gamma$
0	1	$-\theta_{pre}^{LS} (1 - \theta_{post}^{LS})$
1	0	$-(1 - \theta_{pre}^{LS}) \theta_{post}^{LS}$
1	1	$(1 - \theta_{pre}^{LS}) (1 - \theta_{post}^{LS})$

4.2.4.1 Sinapsi da una proprietà saliente a un uccello

Considerando ora le sinapsi entranti in una parola (gufo) e una proprietà distintiva e saliente (caccia di notte), quindi con percentuale superiore a $\theta_{post}^{SS} = 0.55$, sulla base dei casi riportati in tabella, abbiamo che:

caso a) $x_i^S=0, x_j^L=1$: si verifica con una frequenza

$$(1 - \text{perc_prop}) \frac{1}{N^{\circ}\text{parole}} \quad (2)$$

caso b) $x_i^S=1, x_j^L=0$: è un caso che non si verifica mai

caso c) $x_i^S=1, x_j^L=1$: si verifica con una frequenza

$$\text{perc_prop} \frac{1}{N^{\circ}\text{parole}} \quad (3).$$

dove per *perc_prop* si intende la frequenza di occorrenza di una proprietà, e *N° parole* è il numero di parole usate nel modello.

Sostituendo le (2) e (3) all'interno della (1), otteniamo:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta W_{j,i}^{LS}}{\gamma} &= \frac{-(1 - \text{perc_prop})}{N^{\circ}\text{parole}} \theta_{pre}^{LS}(1 - \theta_{post}^{LS}) + \frac{\text{perc_prop}}{N^{\circ}\text{parole}} (1 - \theta_{pre}^{LS})(1 - \theta_{post}^{LS}) = \\ &= \frac{1}{N^{\circ}\text{parole}} (1 - \theta_{post}^{LS})(\text{perc_prop} - \theta_{pre}^{LS}) > 0 \end{aligned} \quad (4).$$

Dalla (4) consegue che la sinapsi si rafforza se la percentuale di occorrenza, *perc-pro* è maggiore della soglia presinaptica).

Finora abbiamo considerato che il neurone che codifica la parola (gufo) si attivasse sopra soglia solo quando la parola è data in ingresso (quindi con $x_j^L=1$); tale situazione si verifica un numero di volte pari a $1/N^{\circ}\text{parole}$.

Supponiamo, invece, che tale neurone possa attivarsi, sopra la soglia θ_{post}^{LS} ,

anche quando le proprietà comuni agli uccelli sono tutte attive. In altri termini, siano sufficienti tali proprietà per attivare leggermente il neurone che codifica per il gufo. Supponiamo, inoltre, di essere verso la fine dell'addestramento e che quindi le proprietà (del gufo) si attivino tutte ogni volta che viene data la parola. Occorre allora cambiare le frequenze usate in precedenza:

caso a1) nel caso in cui $x_j^L=1$ (cioè la parola è assegnata dall'esterno) la frequenza rimane la stessa di prima

$$\frac{(1 - \text{perc_prop})}{N^{\circ}\text{parole}} \quad (5)$$

caso a2) consideriamo una $x_j^L > \theta_{post}^{LS}$ ma che sia anche $x_j^L < 1$, la frequenza diventa

$$\frac{(N^{\circ}\text{uccelli} - 1)}{N^{\circ}\text{parole}} \quad (6)$$

In questo caso, indicando con x_j^L l'attività del neurone, la modifica della sinapsi risulta pari a

$$- \frac{(N^{\circ}\text{uccelli} - 1)}{N^{\circ}\text{parole}} \theta_{pre}^{LS} (x_j^L - \theta_{post}^{LS})$$

Tale situazione si verifica tutte le volte che compare il nome di un uccello, compreso la parola “uccello”, tranne che per la parola considerata (gufo).

I casi *b* e *c* restano invariati.

Otteniamo, sostituendo nella (1) i casi a1, a2, b e c::

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta W_{j,i}^{LS}}{\gamma} &= - \frac{1}{N^{\circ}parole} (1 - \theta_{post}^{LS}) \theta_{pre}^{LS} (1 - perc_prop) - \\
&- \frac{(N^{\circ}uccelli - 1)}{N^{\circ}parole} \theta_{pre}^{LS} (x_j^L - \theta_{post}^{LS}) + \frac{perc_prop}{N^{\circ}parole} (1 - \theta_{pre}^{LS}) (1 - \theta_{post}^{LS}) = \\
&= \frac{1}{N^{\circ}parole} \{ perc_prop (1 - \theta_{post}^{LS}) - \theta_{pre}^{LS} [1 - \theta_{post}^{LS} + (N^{\circ}uccelli - 1) (x_j^L - \theta_{post}^{LS})] \}. \quad (7)
\end{aligned}$$

Quindi, affinché la sinapsi si rinforzi, come voluto, deve risultare:

$$perc_prop (1 - \theta_{post}^{LS}) - \theta_{pre}^{LS} [1 - \theta_{post}^{LS} + (N^{\circ}uccelli - 1) (x_j^L - \theta_{post}^{LS})] > 0. \quad (8)$$

Quindi possiamo concludere dicendo che:

$$perc_prop (1 - \theta_{post}^{LS}) - \theta_{pre}^{LS} (1 - \theta_{post}^{LS}) - \theta_{pre}^{LS} (N^{\circ}uccelli - 1) (x_j^L - \theta_{post}^{LS}) > 0 \quad (9)$$

$$x_j^L - \theta_{post}^{LS} < \frac{(1 - \theta_{post}^{LS})(perc_prop - \theta_{pre}^{LS})}{(N^{\circ}uccelli - 1) \theta_{pre}^{LS}} \quad (10)$$

quindi avere

- $x_j^L < \theta_{post}^{LS} + \frac{(1 - \theta_{post}^{LS})(perc_cacciadinotte - \theta_{pre}^{LS})}{(N^{\circ}uccelli - 1) \theta_{pre}^{LS}}$
- $x_j^L > \theta_{post}^{LS}$

La prima disuguaglianza discende dalla (10), la seconda è stata ipotizzata in precedenza (altrimenti ricadremmo nel caso descritto dall'equazione (4)).

Questo studio consente di stabilire un valore a x_j^L in modo da superare quei limiti che il modello presentava. Ad esempio se abbiamo $\theta_{post}^{LS} = 0.05$,

$\theta_{pre}^{LS} = 0.55$, $N^{\circ} \text{parole} = 16$, $N^{\circ} \text{uccelli} = 6$, $\text{perc_prop} = 0.60$, allora per evitare che il modello non riesca a distinguere i diversi uccelli, l'attività del neurone postsinaptico deve avere un valore $x_j^L < 0.0673$. Per mantenere basso il valore di x_j^L è possibile utilizzata una sigmoide lessicale più ripida oppure alzare la soglia post-sinaptica (questa seconda opzione è resa inappropriata dalle considerazioni che faremo in seguito).

4.2.4.2 Sinapsi da una proprietà comune saliente a un uccello

Si consideri ora una proprietà comune a tutti gli animali, come “mangia”, invece di una caratteristica distintiva e saliente, supponendo di essere nel caso in cui la parola (gufo) si attivi solo una volta ogni ‘N parole’ e facendo riferimento ancora alla tabella , abbiamo:

caso a) $x_i^S = 0, x_j^L = 1$: che si verifica con una frequenza

$$\frac{(1 - \text{perc_prop})}{N^{\circ} \text{ parole}} \quad (11)$$

caso b) $x_i^S = 1, x_j^L = 0$: si verifica con una frequenza data da

$$\text{perc_prop} \frac{N^{\circ} \text{ parole} - 1}{N^{\circ} \text{ parole}} \quad (12)$$

caso c) $x_i^S = 1, x_j^L = 1$: che si verifica con una frequenza

$$\frac{\text{perc_prop}}{N^{\circ} \text{ parole}}. \quad (13)$$

Sostituendo la (11), (12), (13) nella (1), otteniamo:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta W_{j,i}^{LS}}{\gamma} &= - \frac{1 - \text{perc_prop}}{N^\circ \text{ parole}} \theta_{\text{pre}}^{LS} (1 - \theta_{\text{post}}^{LS}) - \text{perc_prop} \frac{N^\circ \text{ parole} - 1}{N^\circ \text{ parole}} * \\ & * (1 - \theta_{\text{pre}}^{LS}) \theta_{\text{post}}^{LS} + \frac{\text{perc_prop}}{N^\circ \text{ parole}} (1 - \theta_{\text{pre}}^{LS}) (1 - \theta_{\text{post}}^{LS}) = \\ & = \frac{1}{N^\circ \text{ parole}} \{ \text{perc_prop} [(1 - \theta_{\text{post}}^{LS}) - (N^\circ \text{ parole} - 1)(1 - \theta_{\text{pre}}^{LS}) \theta_{\text{post}}^{LS}] - \theta_{\text{pre}}^{LS} (1 - \theta_{\text{post}}^{LS}) \} > 0 \quad (14) \end{aligned}$$

Quindi, si può concludere dicendo che la percentuale che deve avere una proprietà comune come “mangia”, affinché la sinapsi si rinforzi, è:

$$\text{perc_prop} > \frac{\theta_{\text{pre}}^{LS} (1 - \theta_{\text{post}}^{LS})}{1 - \theta_{\text{post}}^{LS} [\theta_{\text{pre}}^{LS} + N^\circ \text{ parole} (1 - \theta_{\text{pre}}^{LS})]} \quad (15)$$

Quindi considerando valori come $\theta_{\text{post}}^{LS} = 0.05$, $\theta_{\text{pre}}^{LS} = 0.55$, $N^\circ \text{ parole} = 16$, dovrei avere $\text{perc_prop} > 0.8531$.

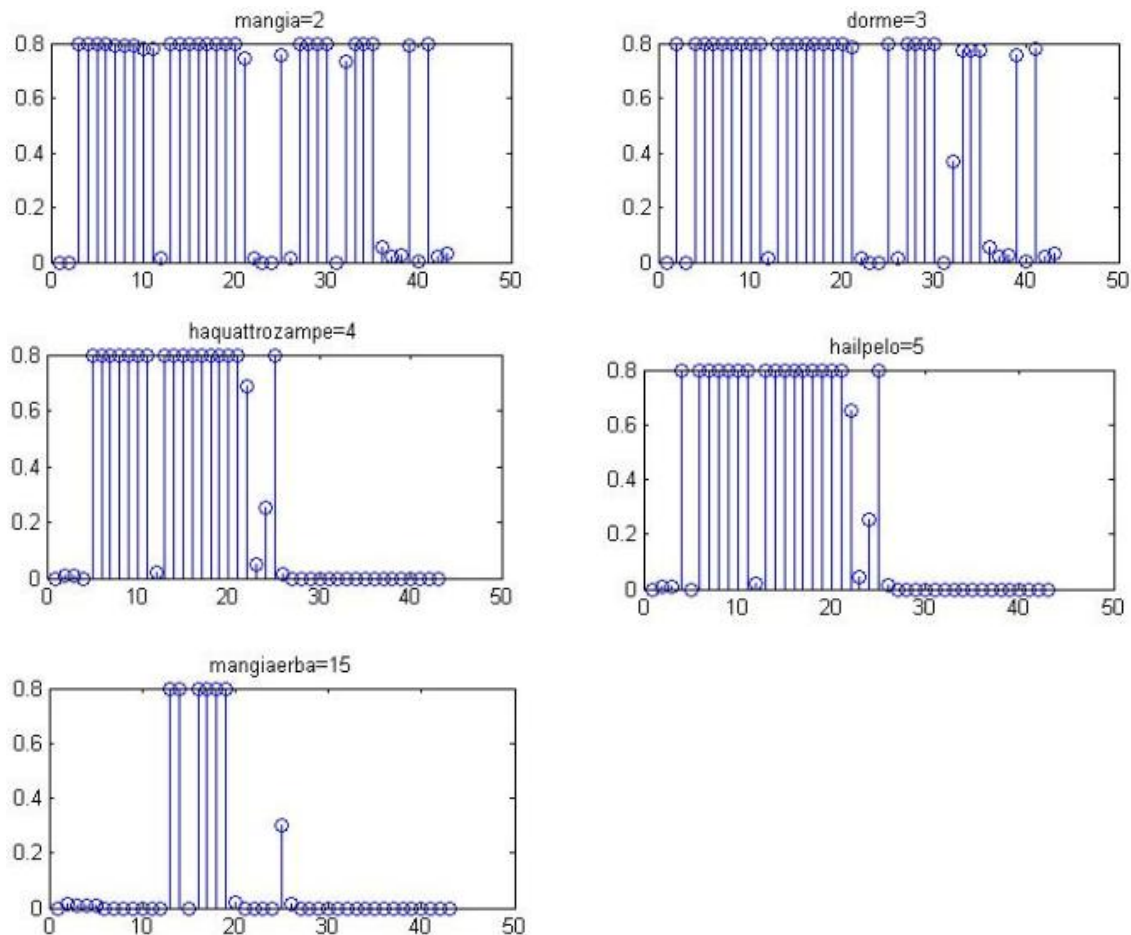
Come già accennato in precedenza, una possibilità per mantenere ad un valore basso x_j^L , era aumentare la soglia post-sinaptica, ma l'eq. 15 impedisce questa possibilità. Quindi per soddisfare la (10) occorre agire sulla rapidità della sigmoide lessicale.

4.3 Risultati – soglia variabile

4.3.1 Addestramento semantico – fase 1

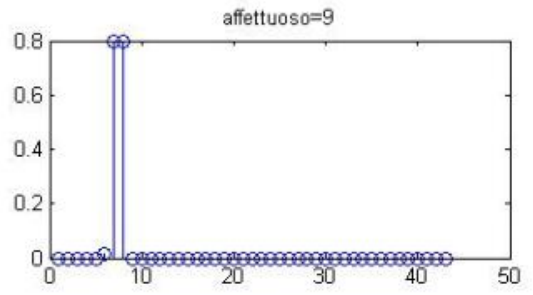
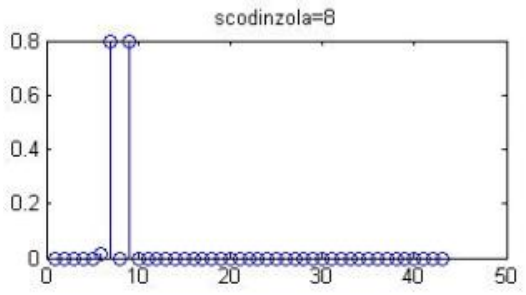
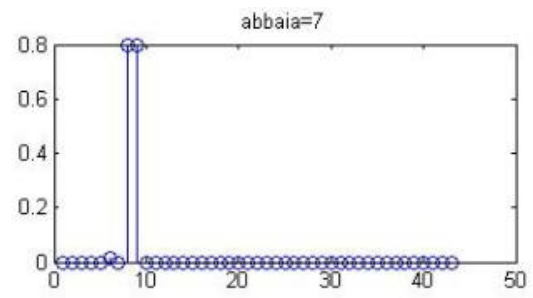
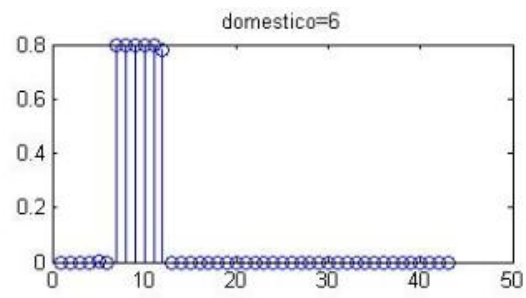
Per superare i limiti visti fino ad ora, abbiamo pensato di inserire all'interno del modello una regola che si adatti automaticamente alla statistica delle proprietà date in input, con una soglia postsinaptica in grado di aumentare quando la proprietà post-sinaptica si presenta più di frequente e rimanere al valore basale nel caso contrario.

Questo diventa evidente andando a guardare le figure relative alle sinapsi che si creano.

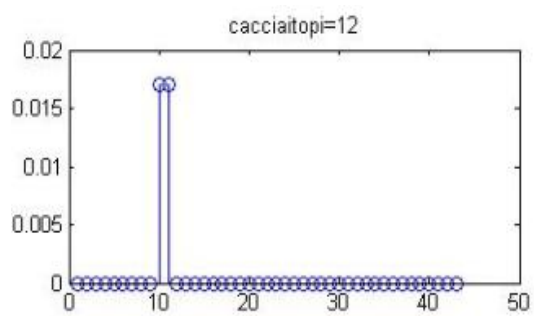
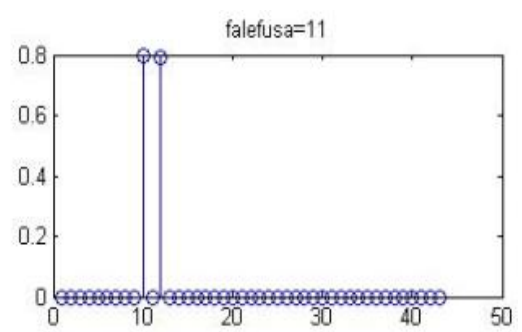
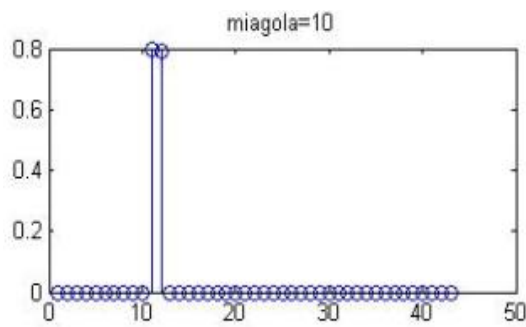


Da questi grafici possiamo notare che, per le proprietà comuni alle categorie “animale”, “mammiferi” ed “erbivori”, e le proprietà distintive dei vari animali, i risultati rimangono invariati rispetto all’addestramento con soglia fissa. Vediamo alcuni esempi:

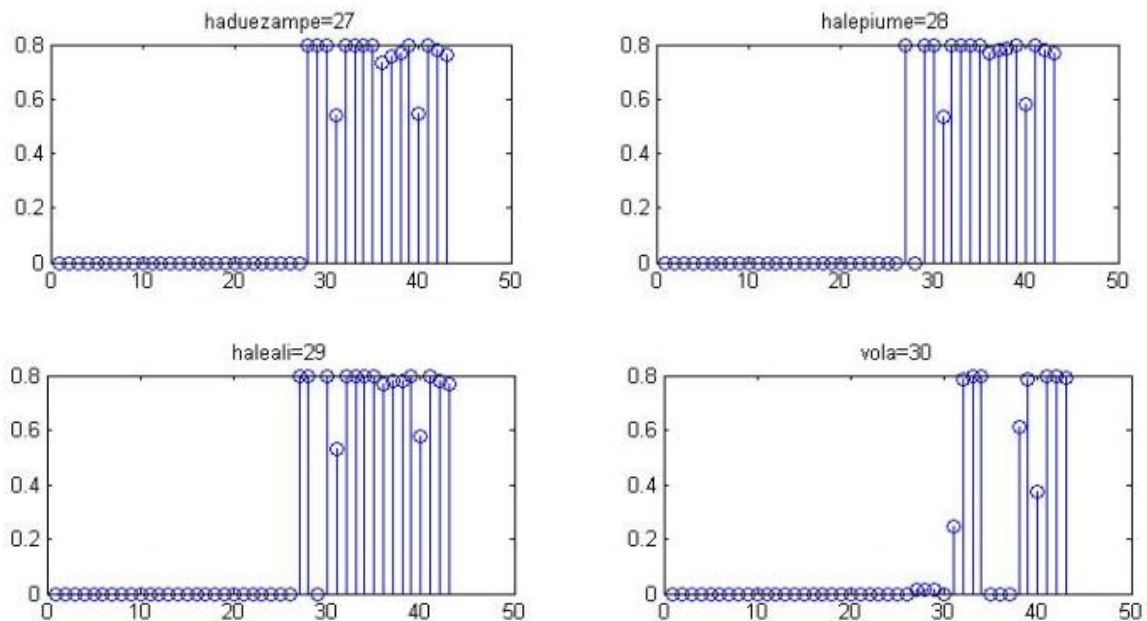
“Cane”



“Gatto”



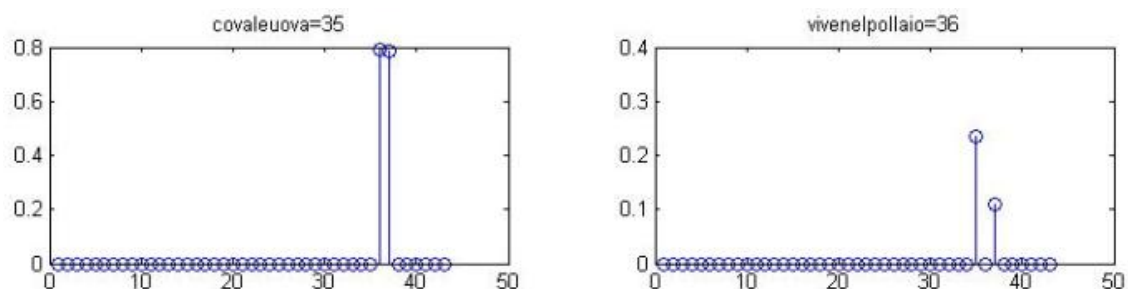
I cambiamenti più importanti avvengono per le proprietà che appartengono agli uccelli:

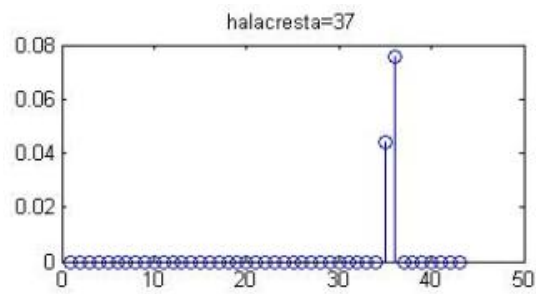


Nei risultati precedenti la caratteristica “vola” veniva attribuita anche alla “gallina”, poiché l’80% delle volte, tale proprietà, si verificava nell’area semantica, insieme alle altre proprietà che costituivano la categoria “uccello”. Le prime tre proprietà richiama automaticamente la proprietà “vola”, attribuita alla categoria “uccello”, e quindi anche alla “gallina”.

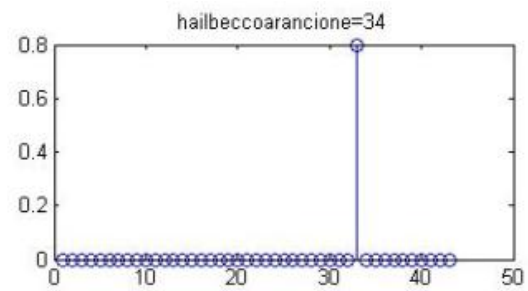
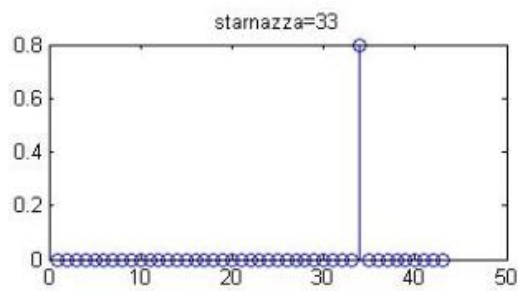
Con la soglia postsinaptica variabile, accade che, per le sinapsi che si rinforzano molto, θ_{post}^{AB} aumenta, e la caratteristica “vola” non viene attribuita più alla “gallina”.

“Gallina”





“Oca”

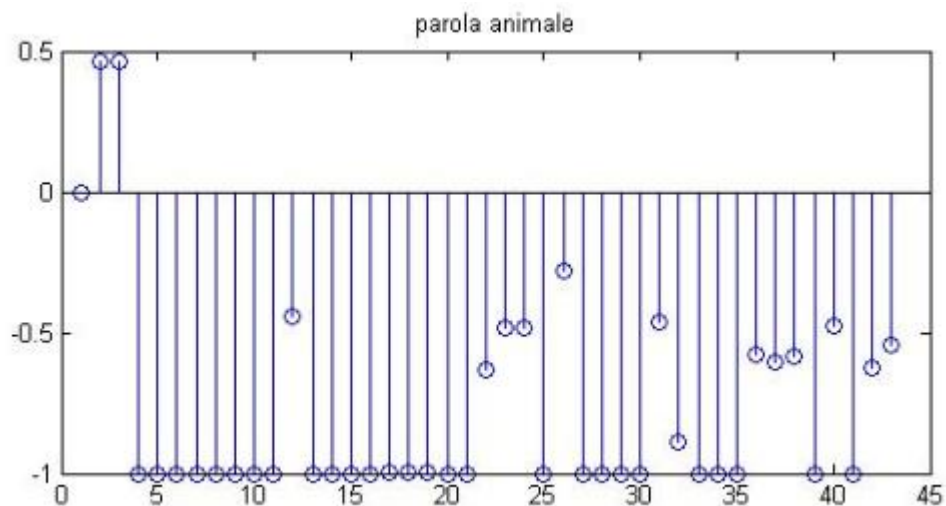


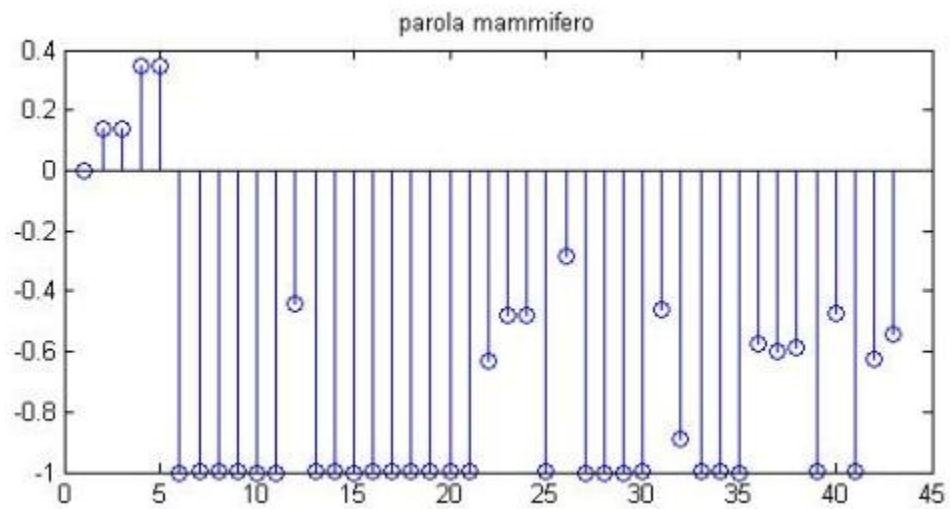
Per le due caratteristiche salienti le cose rimangono invariate.

Anche per il resto degli uccelli i grafici sono invariati rispetto all'addestramento con soglia fissa, ma il modello non avrà più difficoltà a distinguere i vari uccelli, come vedremo nei paragrafi successivi.

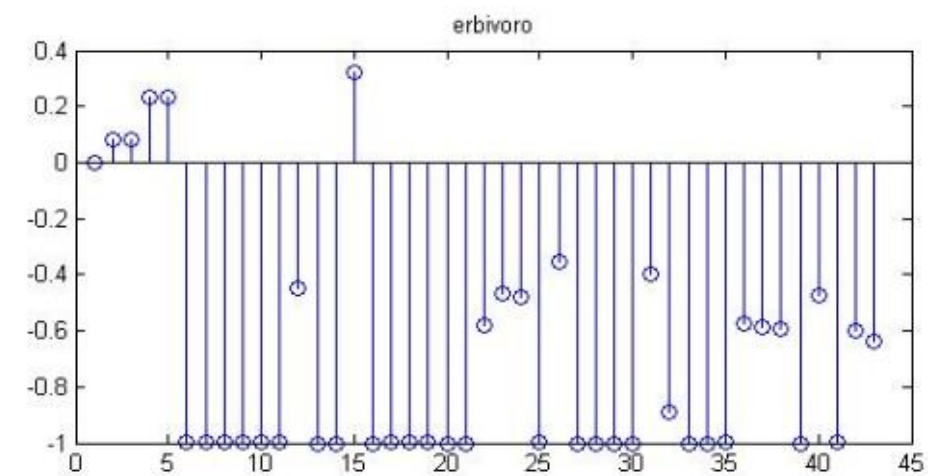
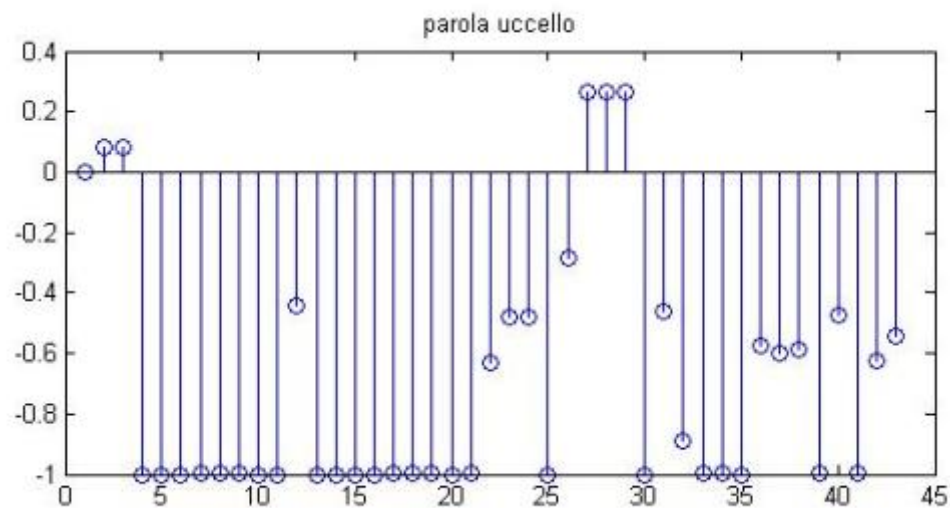
4.3.2 Addestramento lessicale – fase2

La sostituzione della soglia fissa con quella variabile migliora anche i risultati ottenuti nella parte lessicale. Vediamo le sinapsi entranti nelle singole parole dalle unità semantiche. Per le categorie abbiamo:

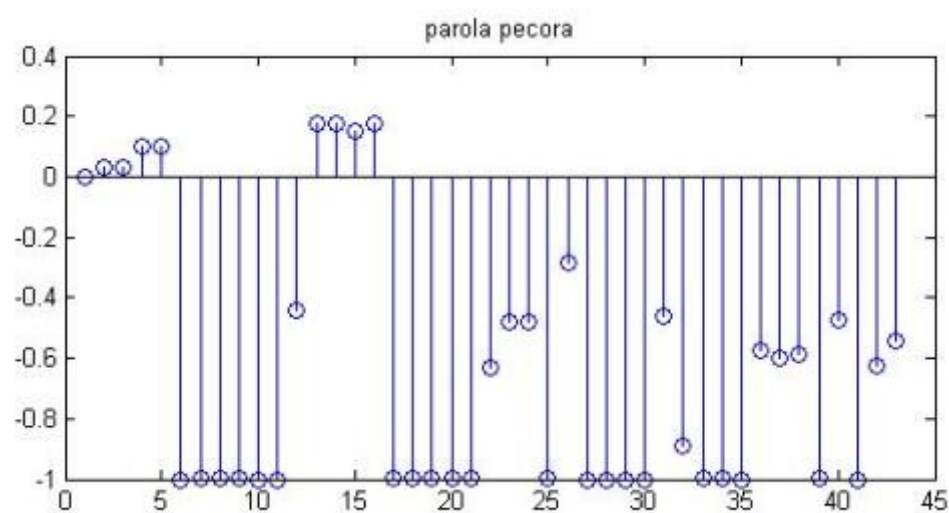
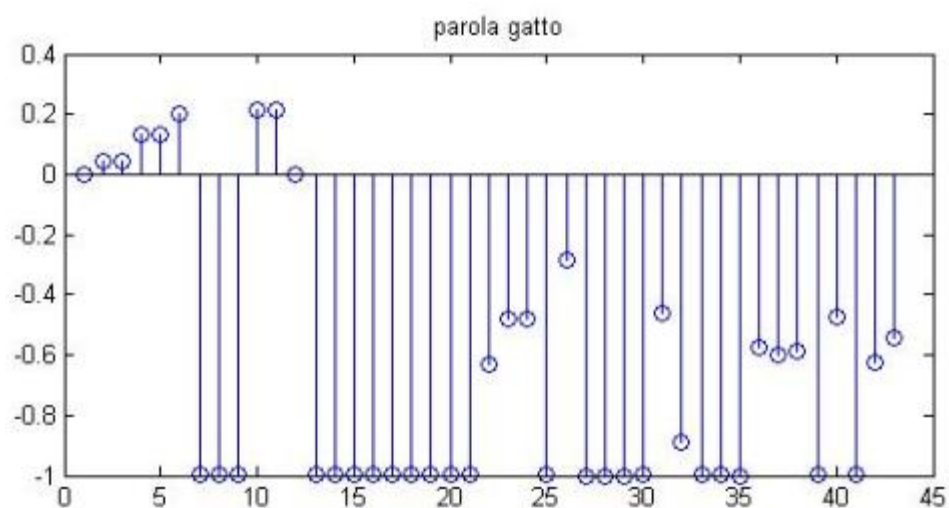
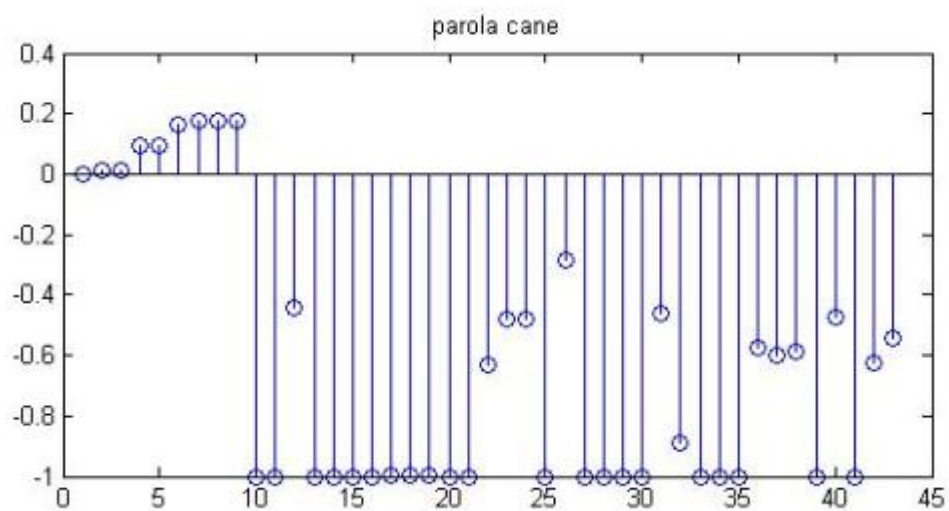


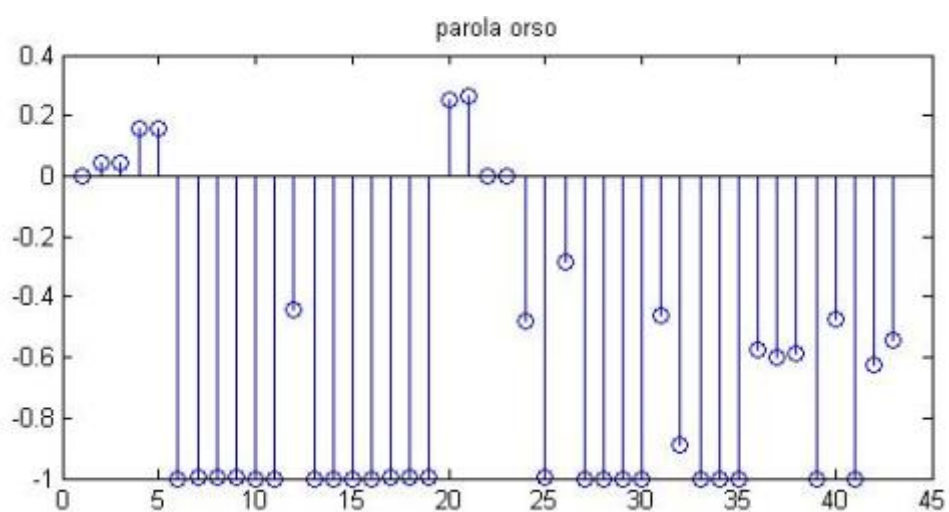
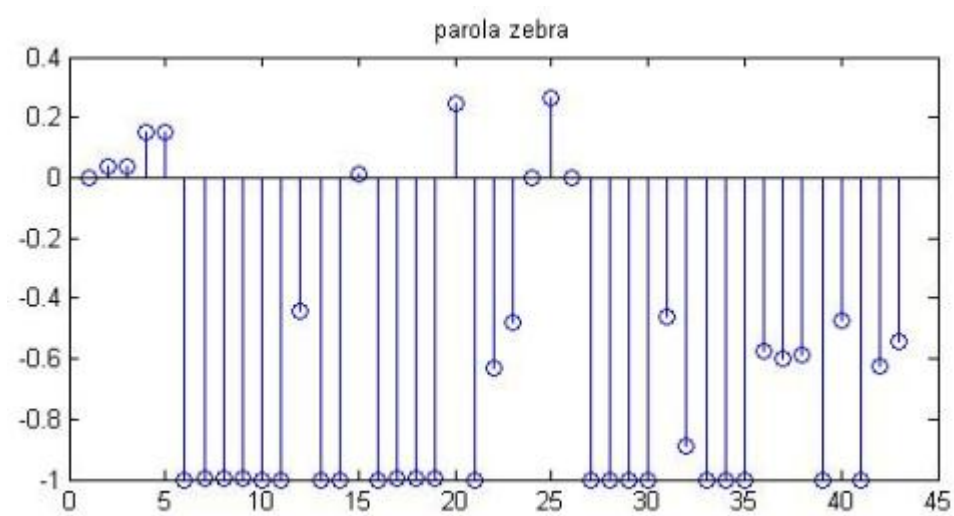
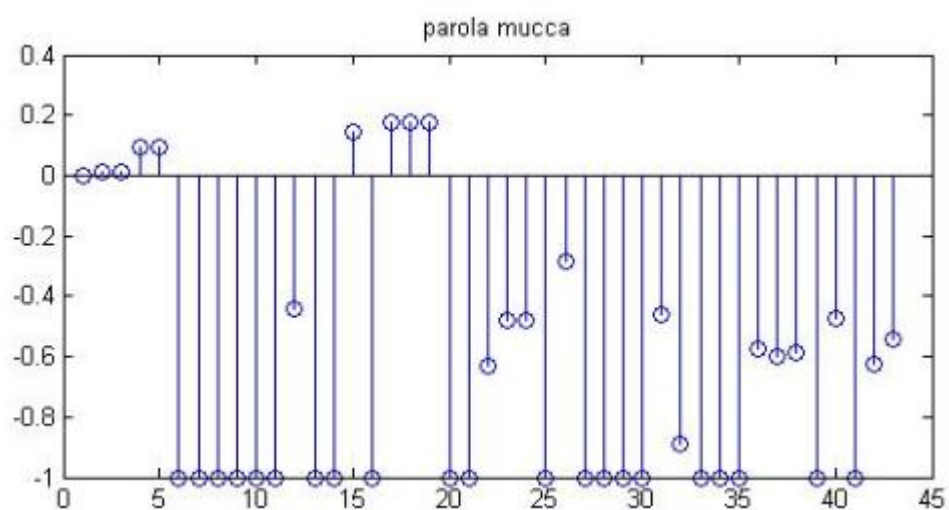


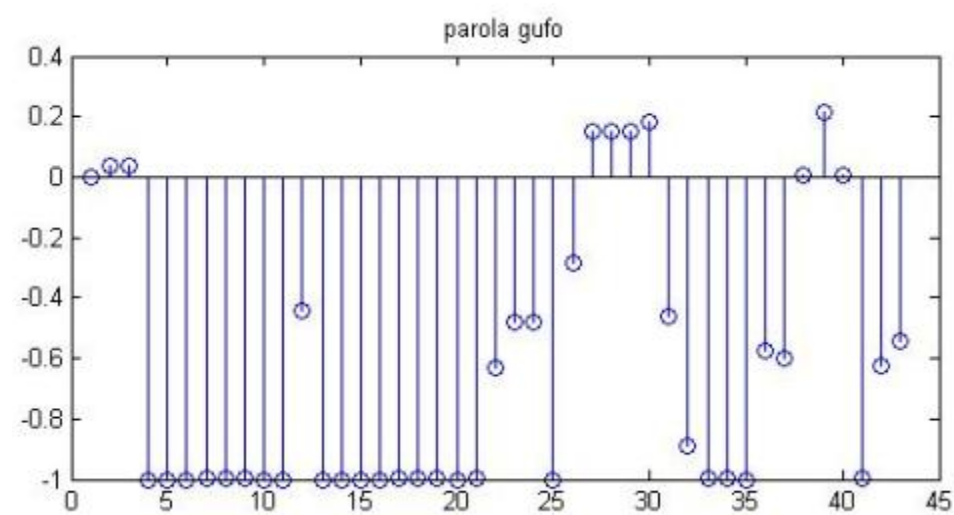
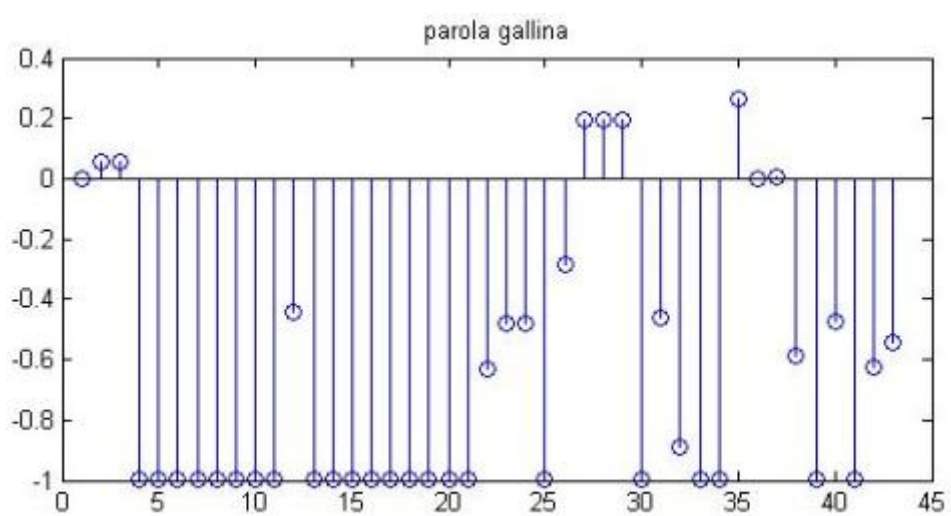
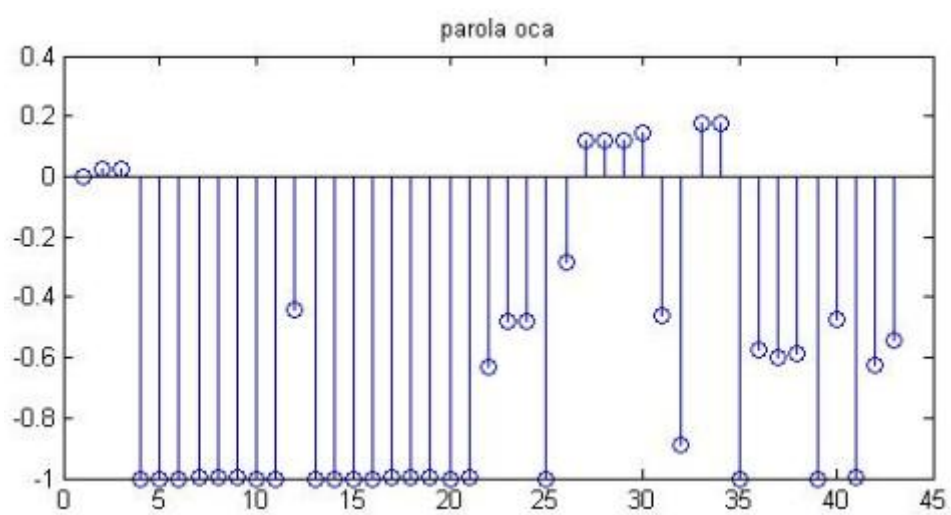
Tra le sinapsi che entrano nella parola “uccello” non compare più la proprietà “vola” (30).

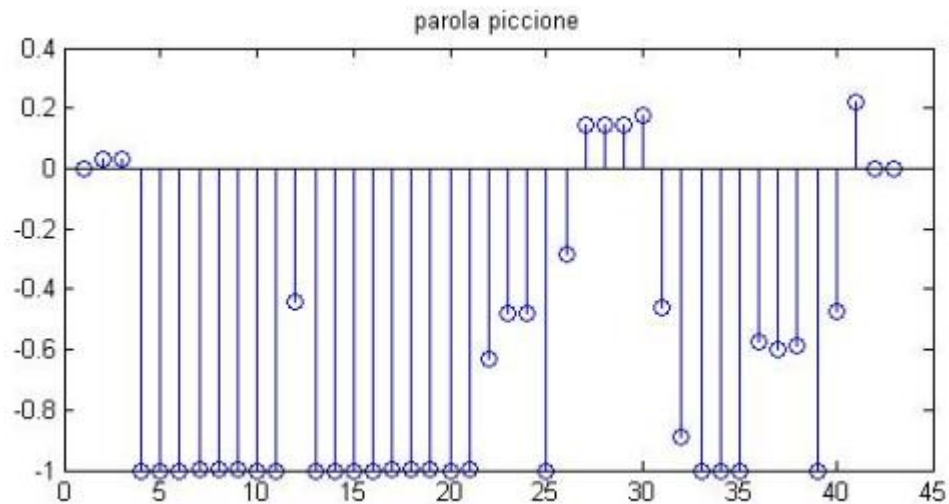


Per le sinapsi entranti in ogni parola che codifica per un concetto (un animale), dalle unità semantiche, invece abbiamo :



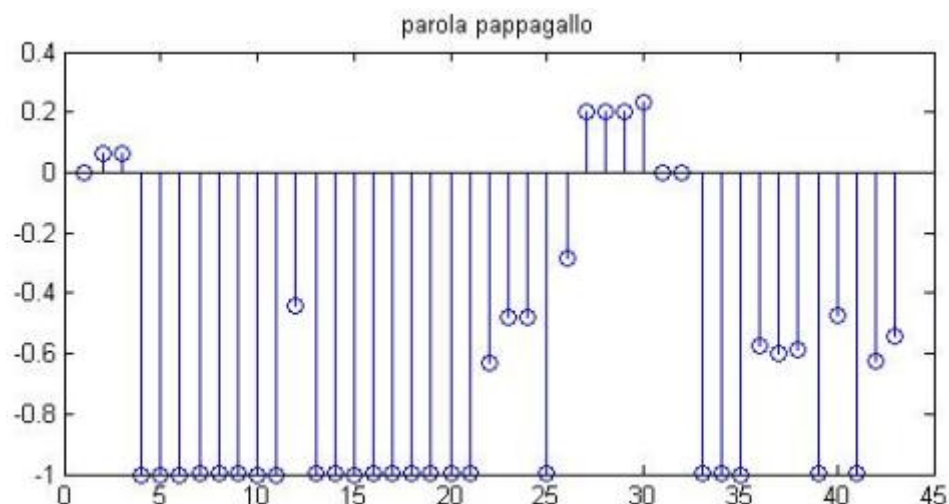




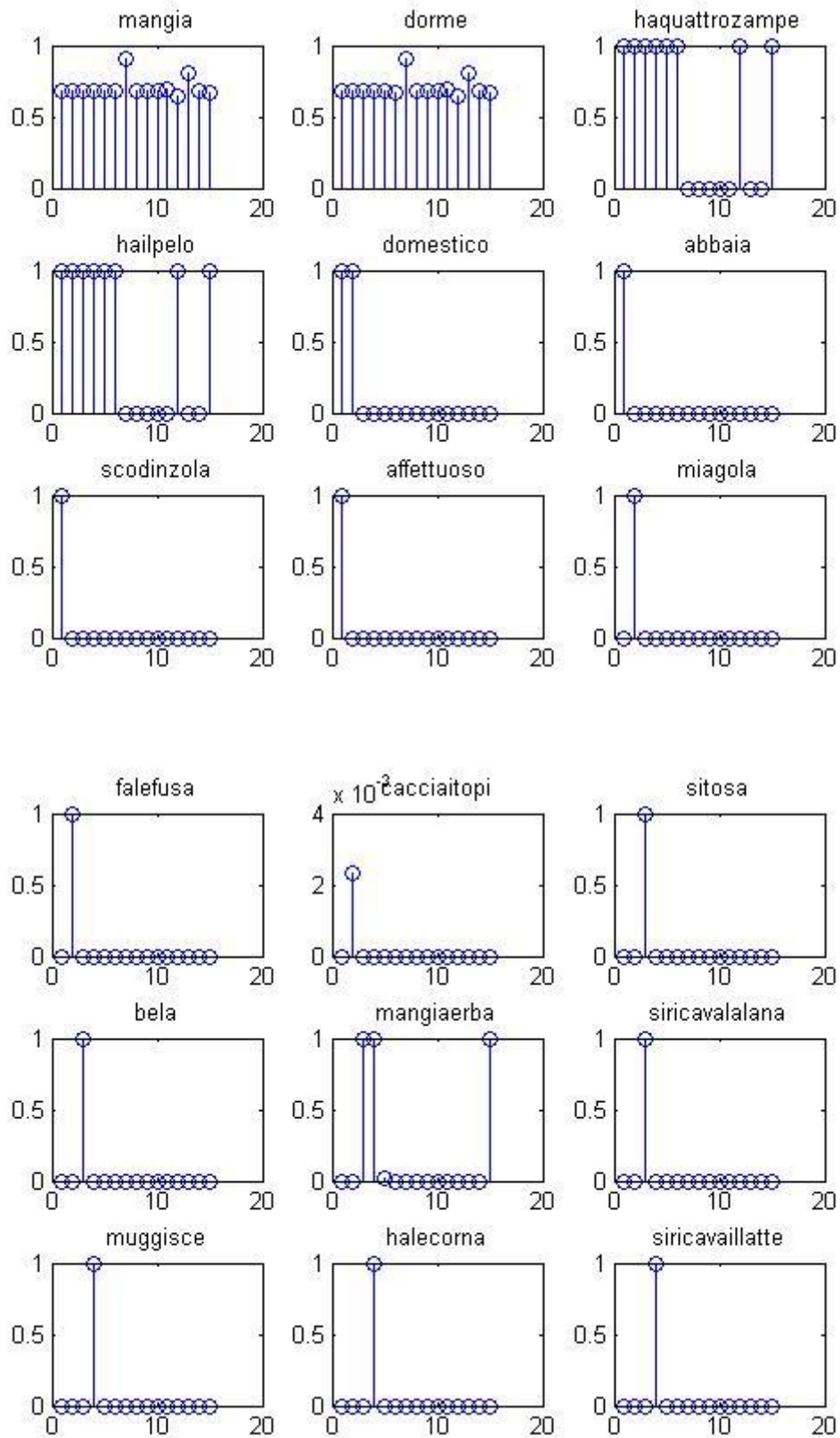


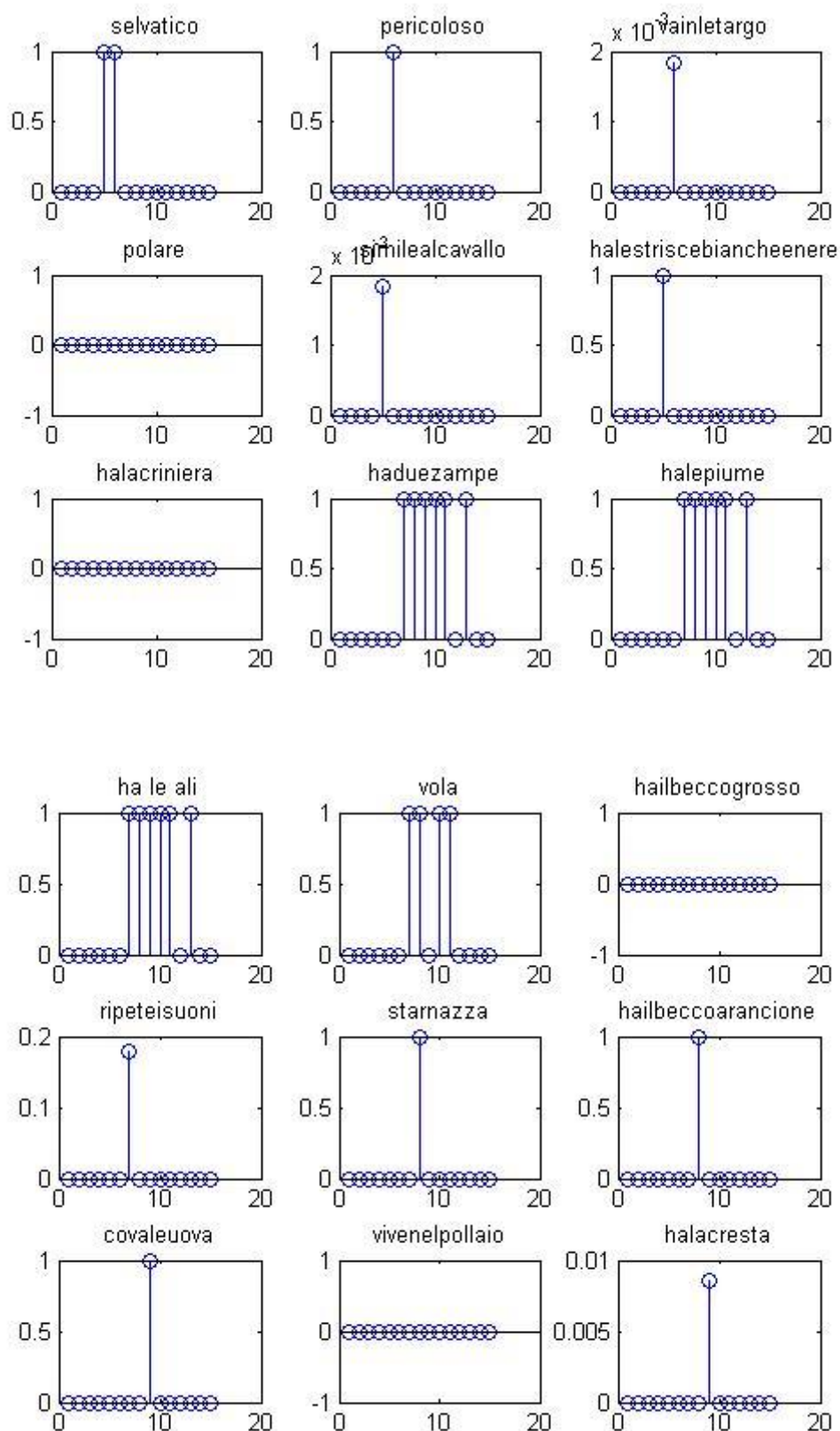
La differenza con il modello precedente si nota soprattutto per le sinapsi che entrano nelle parole relative agli uccelli, con la soglia fissa si limitavano a quelle relative alla categoria (uccello), con la soglia variabile, abbiamo sinapsi entranti anche da caratteristiche distintive. Questo consente al modello di riconoscere le singole parole. Se prima veniva dato in ingresso una proprietà distintiva e saliente, venivano richiamati tutti gli uccelli e la categoria.

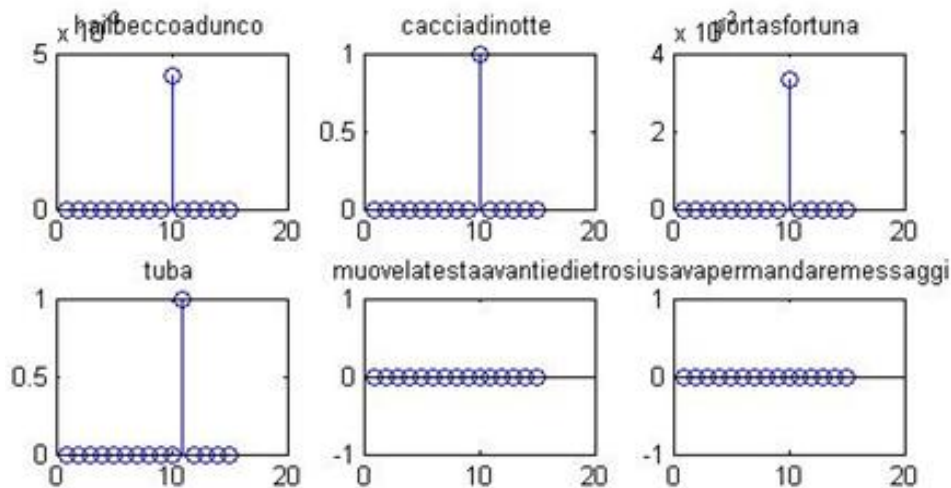
Solo il “pappagallo” presenta ancora questo problema, ma è probabilmente dovuto al fatto che ha solo due proprietà, una marginale e una saliente (60%), e evidentemente non bastano. È comunque un problema che potrebbe essere risolto aumentando la frequenza della caratteristica saliente.



Ora vediamo i grafici che riportano la forza delle sinapsi $W_{j,i}^{SL}$ che entrano in ognuna delle 42 proprietà dell'area semantica, dalle unità lessicali :





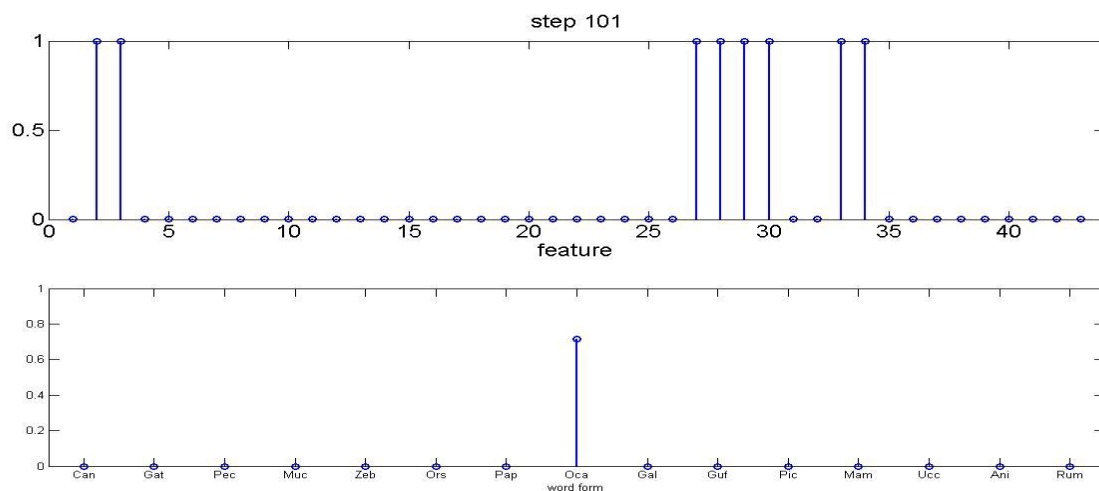


Dai grafici risulta che le proprietà salienti degli uccelli inviano forti sinapsi alle parole. La proprietà “caccia di notte” invia sinapsi alla parola “gufo”, la proprietà “tuba” alla parola “piccione”. Questo, che non accadeva con la soglia fissa, consente alla rete di distinguere i vari uccelli.

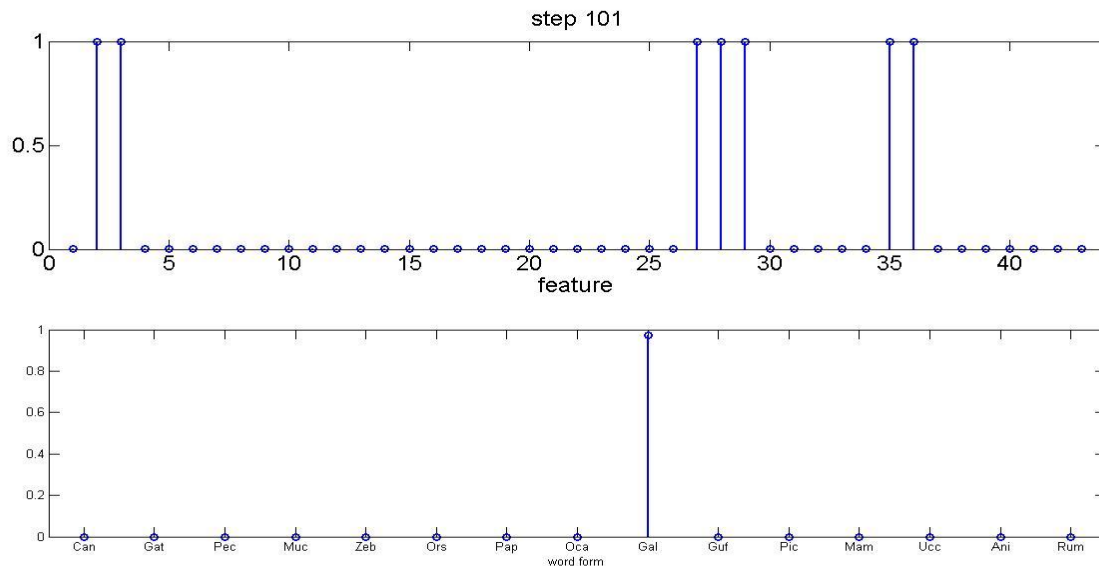
4.3.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti

Proviamo a fornire in ingresso alla rete delle proprietà (marginali o salienti, distintive o comuni) e vediamo i risultati.

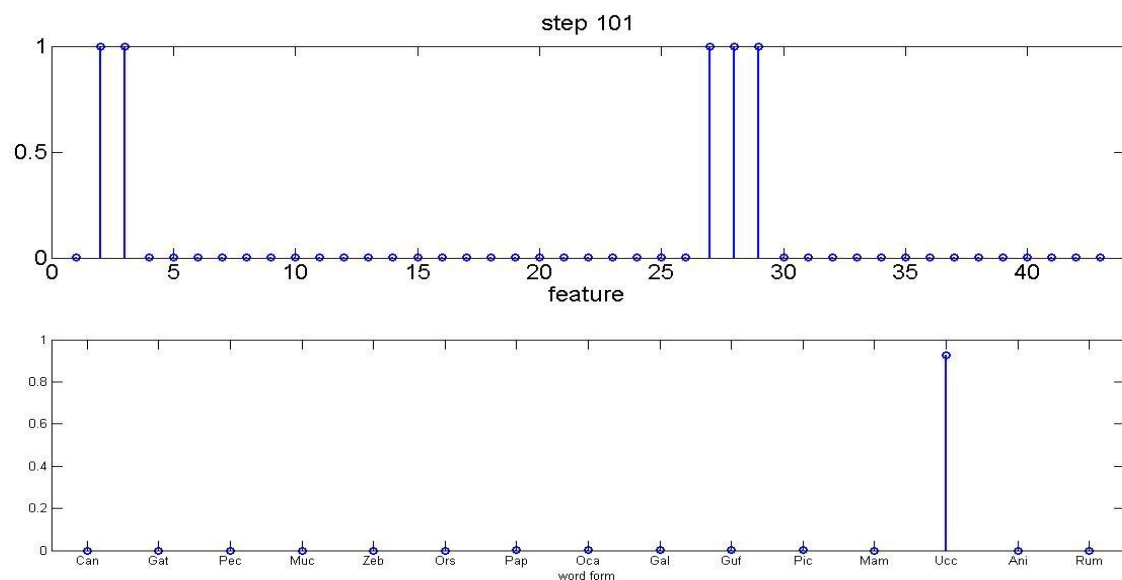
Con la proprietà “starnazza” (saliente) data in ingresso, il modello è in grado di richiamare tutte le proprietà salienti dell’oca e richiamare la parola corrispondente.



Anche con la proprietà marginale “vive nel pollaio” il modello riesce a evocare la parola “gallina”. Inoltre avendo dato in ingresso una proprietà marginale, viene evocata anche la proprietà saliente “cova le uova” (35).



Se proviamo con una proprietà comune “ha le ali”, dovrebbe essere richiamata solo la parola “uccello”, ed è proprio quello che accade.



Da queste simulazioni abbiamo il riscontro dei miglioramenti che la soglia variabile apporta al modello.

4.3.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole

Con questa seconda tipologia di simulazioni viene stimolata ogni parola nell'area lessicale, e si osserva quali proprietà sono evocate nell'area semantica.

Word-form	Features
Animale	2,3
Mammifero	2,3,4,5
Uccello	2,3,27,28,29
Erbivoro	2,3,4,5,15
Cane	2,3,4,5,6,7,8,9
Gatto	2,3,4,5,6,10,11
Pecora	2,3,4,5,13,14,15,16
Mucca	2,3,4,5,15,17,18,19
Zebra	2,3,4,5,15,20,25
Orso	2,3,4,5,20,21
Oca	2,3,27,28,29,30,33,34
Gallina	2,3,27,28,29,35
Pappagallo	2,3,27,28,29,30
Gufo	2,3,27,28,29,30,39
Piccione	2,3,27,28,29,30,41

Tab4.5: risultati di diversi compiti di riconoscimento di parole, nei quali una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico. Le proprietà non salienti (percentuale minore del 55%) non sono evocate.

Dalle simulazioni si evince il superamento dei limiti che questo primo modello aveva con la soglia fissa. Alla categoria “uccello” non viene più attribuita la proprietà “vola” (30). Inoltre, nonostante la proprietà “vola” appartenga ancora a 4 uccelli su 5, non viene più attribuita indistintamente a tutti gli uccelli: stimolando la parola “gallina” non viene più evocata. Tutte le parole evocano le proprietà della categoria di appartenenza e quelle distintive salienti (tranne il pappagallo, per i motivi già visti).

Capitolo 5

5. SECONDO MODELLO

5.1 Tassonomia secondo modello

Nel caso degli animali è stata utilizzata una seconda tassonomia, in cui abbiamo portato a 12 il numero dei concetti, scelti tenendo conto della vicinanza semantica. È stato inserito “gallo” semanticamente vicino a “gallina” ed è stato sostituito “orso” con “giraffa” essendo quest’ultima più vicina alla “zebra”. Anche il numero di proprietà sono state aumentate (da 42 a 54), ogni animale è caratterizzato da 3 o 4 proprietà distintive. Alcuni limiti del primo modello erano dovuti al fatto che gli uccelli, rispetto ai mammiferi, avessero poche proprietà distintive e molte comuni, così abbiamo aumentato le proprietà distintive.

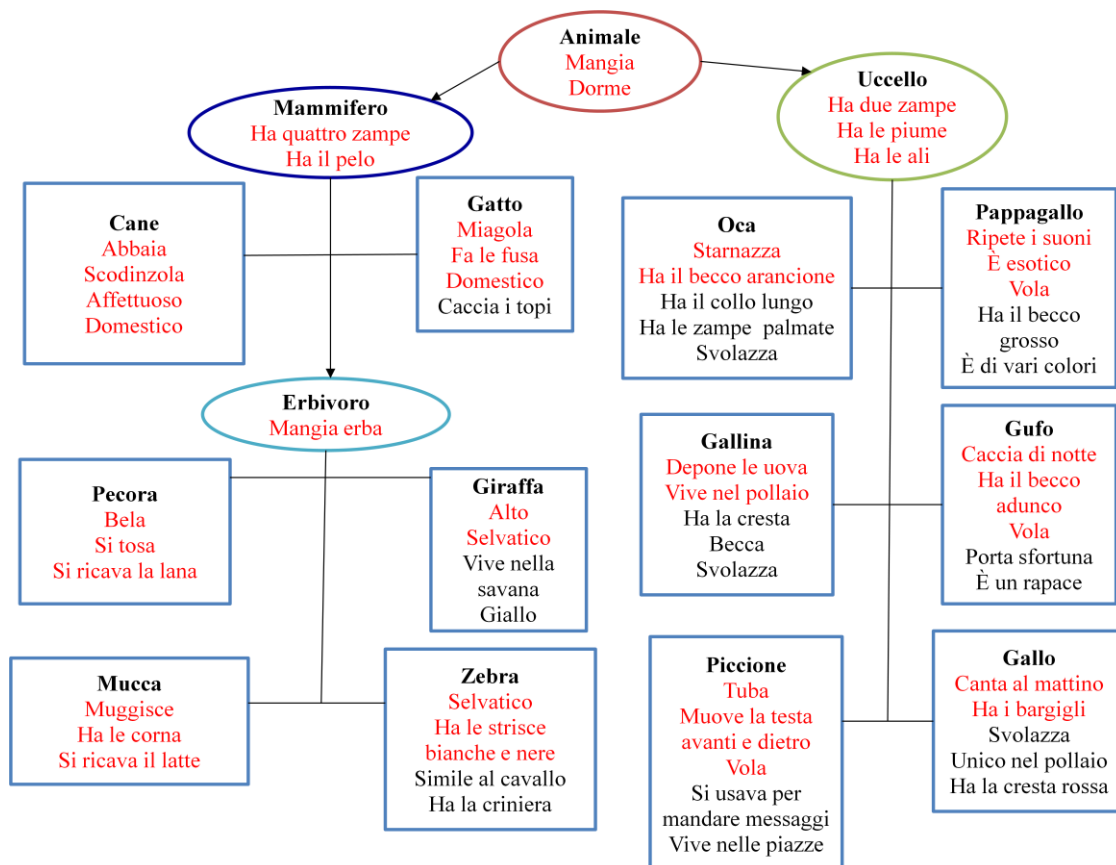


Fig.5.1: tassonomia secondo modello.

È stata fatta la scelta di inserire su 6 uccelli, 3 che volano (pappagallo, piccione e gufo) e 3 che non volano (oca, gallo, gallina), in questo modo la proprietà “vola”, essendo presente solo il 50% delle volte, non viene più evocata da tutti gli uccelli, anche nel caso di soglia fissa. Otteniamo, sulla base di queste scelte, la nuova tassonomia schematizzata in Fig.5.1.

Un’ulteriore modifica è stata fatta sulle frequenze di occorrenza, poste, in questo modello, tutte allo stesso valore: per le caratteristiche salienti 65% e per quelle marginali al 45%.

Utilizziamo la tabella 5.1 per avere una visione globale delle proprietà e come legenda per i risultati che vedremo in seguito.

proprietà	percentuali	posizione
mangia	65%	2
dorme	65%	3
Haquattrozampe	65%	4
hailpelo	65%	5
domestico	65%	6
abbaia	65%	7
scodinzola	65%	8
affettuoso	65%	9
miagola	65%	10
falefusa	65%	11
cacciaitopi	45%	12
sitosa	65%	13
bela	65%	14
mangiaerba	65%	15
siricavalalana	65%	16
muggisce	65%	17
halecornia	65%	18
siricavaillatte	65%	19
selvatico	65%	20
alto	65%	21
giallo	45%	22
vivenellasavana	45%	23
similealcavallo	45%	24
halestriscebiancheenere	65%	25
halacriniera	45%	26
haduezampe	65%	27
halepiume	65%	28
haleali	65%	29
vola	65%	30
hailbeccogrosso	45%	31

ripeteisuoni	65%	32
esotico	65%	33
divaricolori	45%	34
starnazza	65%	35
hailbeccoarancione	65%	36
hailcollolungo	45%	37
halezampepalmate	45%	38
deponeleuova	65%	39
vivenelpollaio	65%	40
halacresta	45%	41
becca	45%	42
hailbeccoadunco	65%	43
cacciadinotte	65%	44
portafortuna	45%	45
rapace	45%	46
tuba	65%	47
muovela testaavanti edietro	65%	48
siusavapermandaremessaggi	45%	49
Vivenellepiazze	45%	50
Cantaalmattino	65%	51
Haibargigli	65%	52
Uniconelpollaio	45%	53
Halacrestarossa	45%	54
Svolazza	45%	55

Tab.5.1: proprietà usate per descrivere i concetti con relativa frequenza e posizione. Le frequenze sono al 65% per proprietà salienti, al 45% per quelle marginali.

Le parole associate e la posizione che occupano all'interno della rete, sono riportate di sotto:

concetti

cane =1;
 gatto =2;
 pecora =3;
 mucca =4;
 zebra =5;
 giraffa = 6;
 oca =7;
 gallina = 8;
 gallo=9;
 pappagallo =10;
 gufo =11;
 piccione =12;

categorie

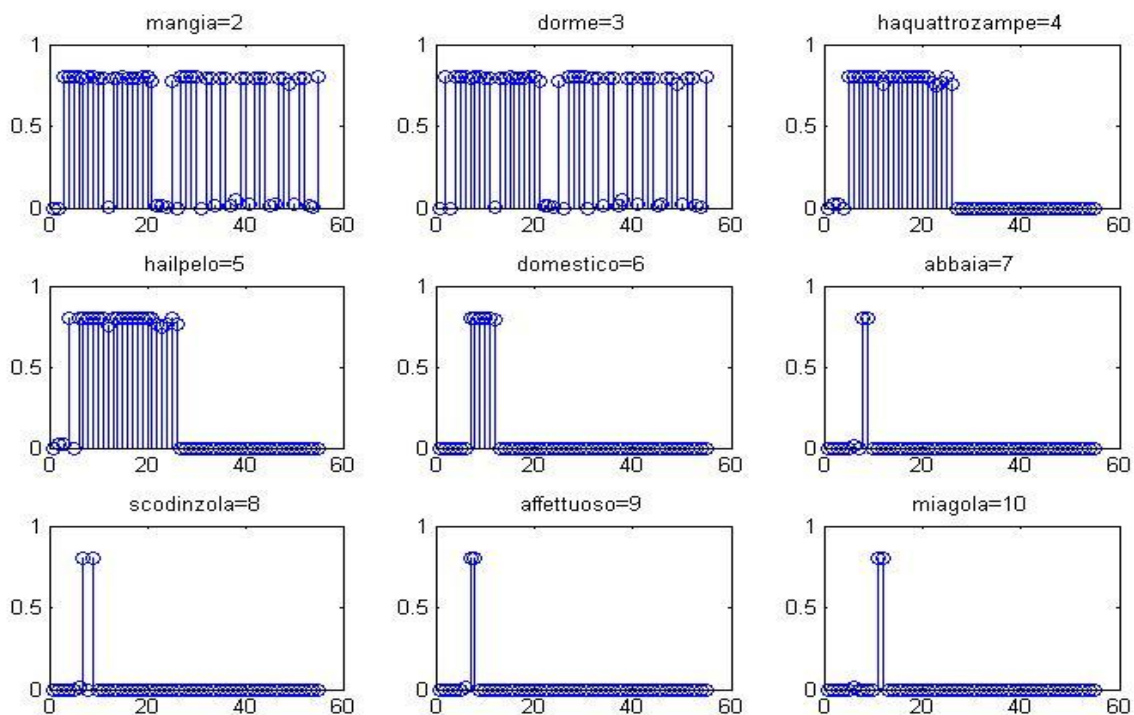
mammifero = 13;
 uccello = 14;
 animale =15;
 erbivoro = 16;

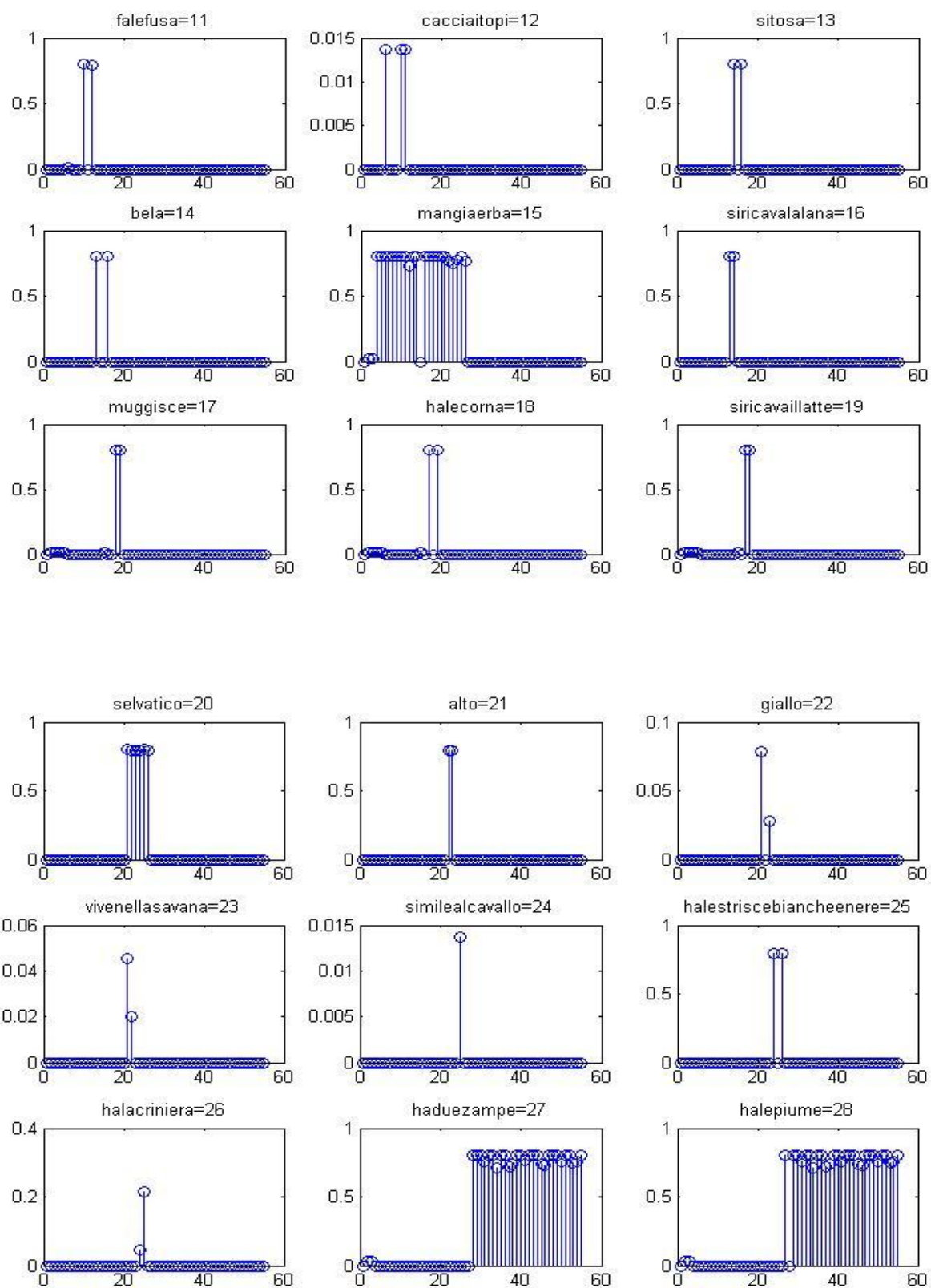
I parametri utilizzati sono uguali al primo modello (vedere paragrafo 4.1.1 Parametri).

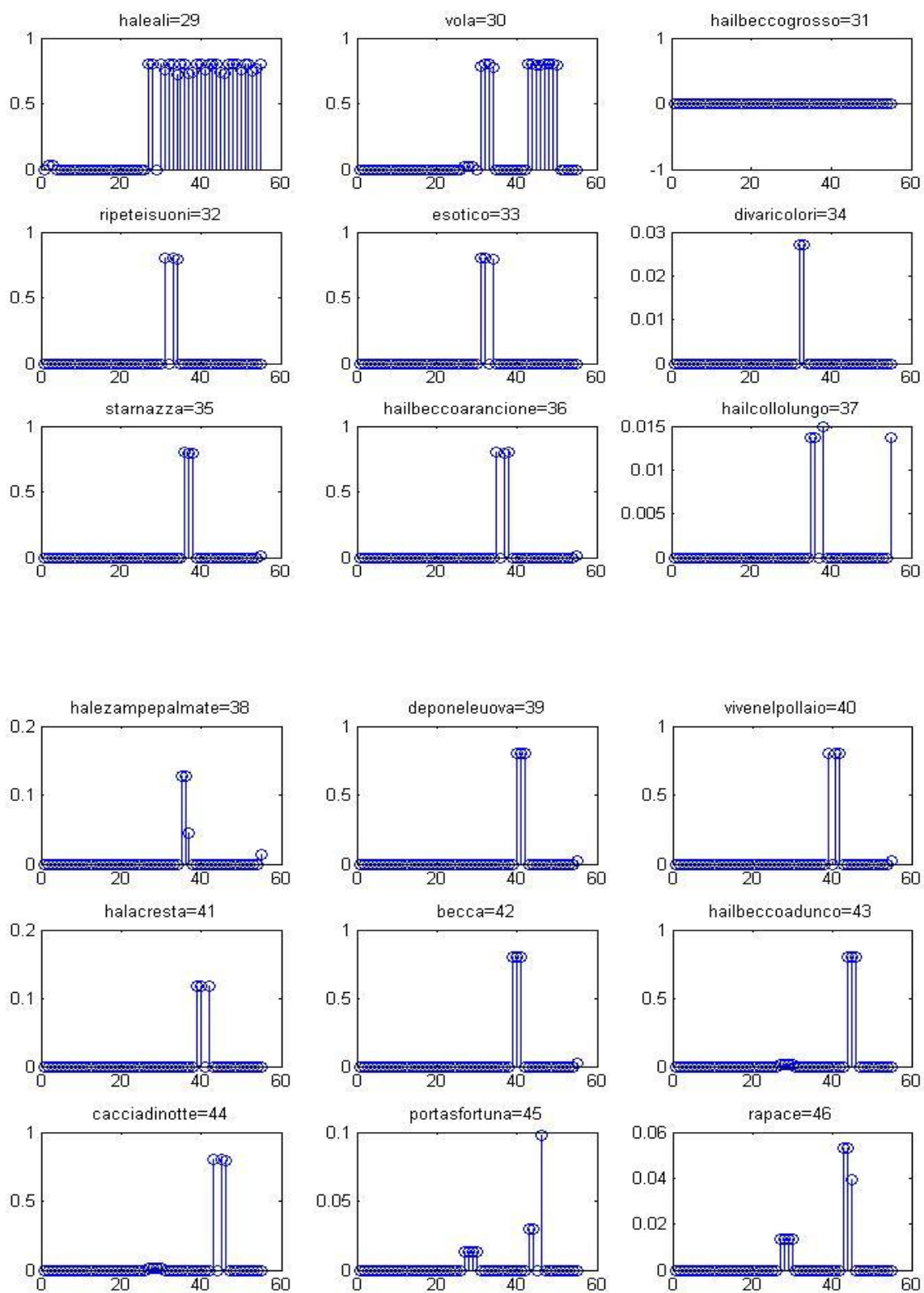
5.2 Risultati – soglia fissa

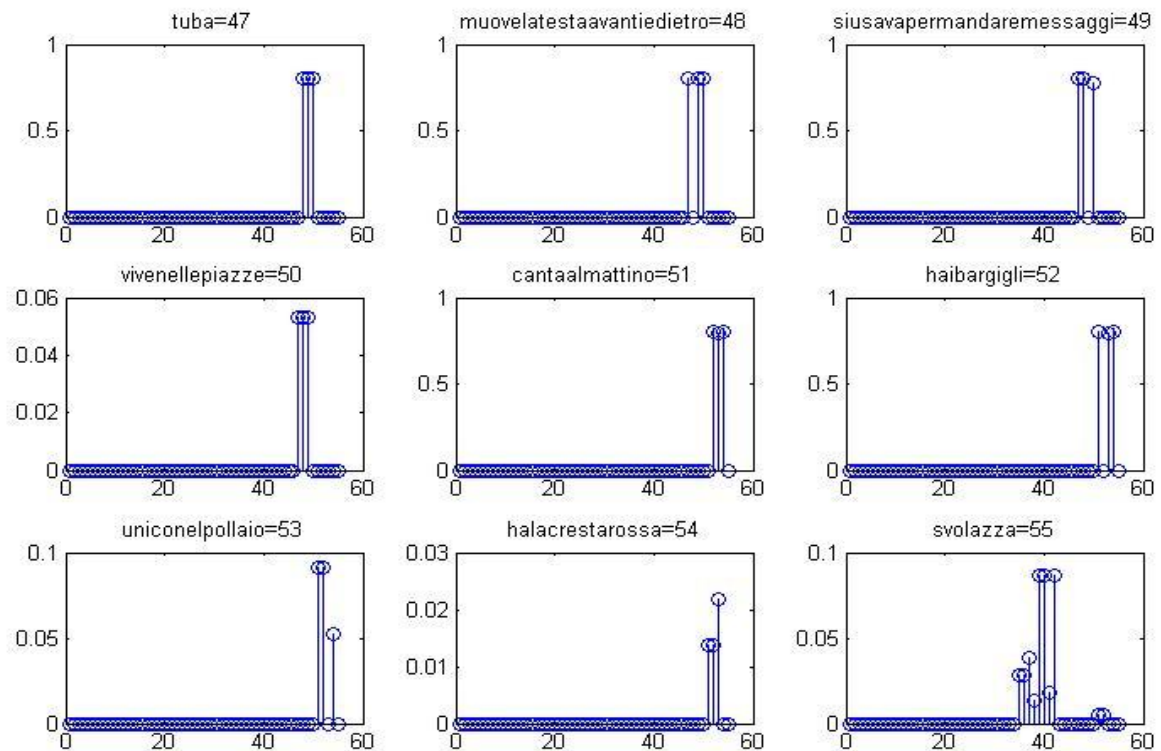
5.2.1 Addestramento semantico – fase 1

In questo secondo modello, già con la soglia fissa i risultati non presentano grossi problemi. È dovuto al fatto di avere aumentato le proprietà distintive degli uccelli e aver creato “un equilibrio” tra il numero di uccelli che volano e quelli che non volano. La proprietà “vola” è presente 3 volte su 6, non più 4 su 5. Vediamo i risultati dopo questa prima fase di addestramento:

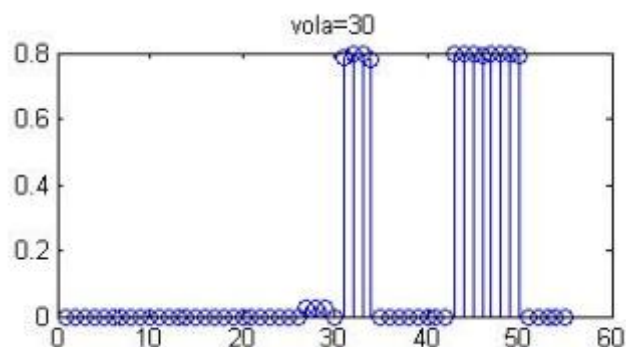




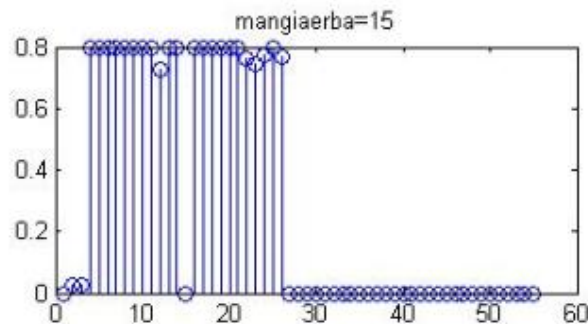




Le proprietà ricevono sinapsi dalle altre proprietà dei concetti, tranne da se stesse, con maggiore forza per le proprietà salienti. Con questa nuova tassonomia questo accade anche per le proprietà degli uccelli, che nel modello precedente creavano sinapsi debolissime o non le creavano affatto. La proprietà “vola” riceve sinapsi solo dalle proprietà del “pappagallo”, del “gufo” e del “piccione”.



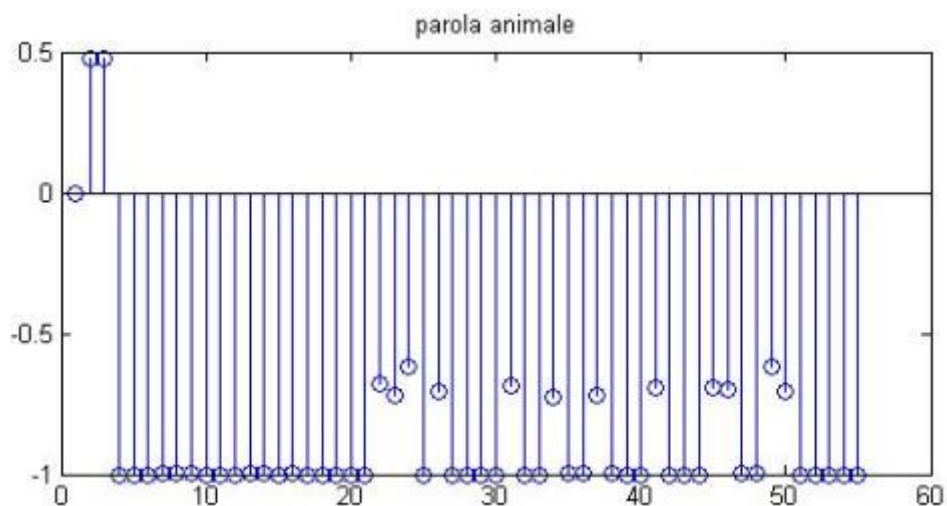
L'unico limite presente (che poi verrà superato utilizzando un algoritmo a soglia variabile) è dato dalla proprietà comune “mangia erba”.

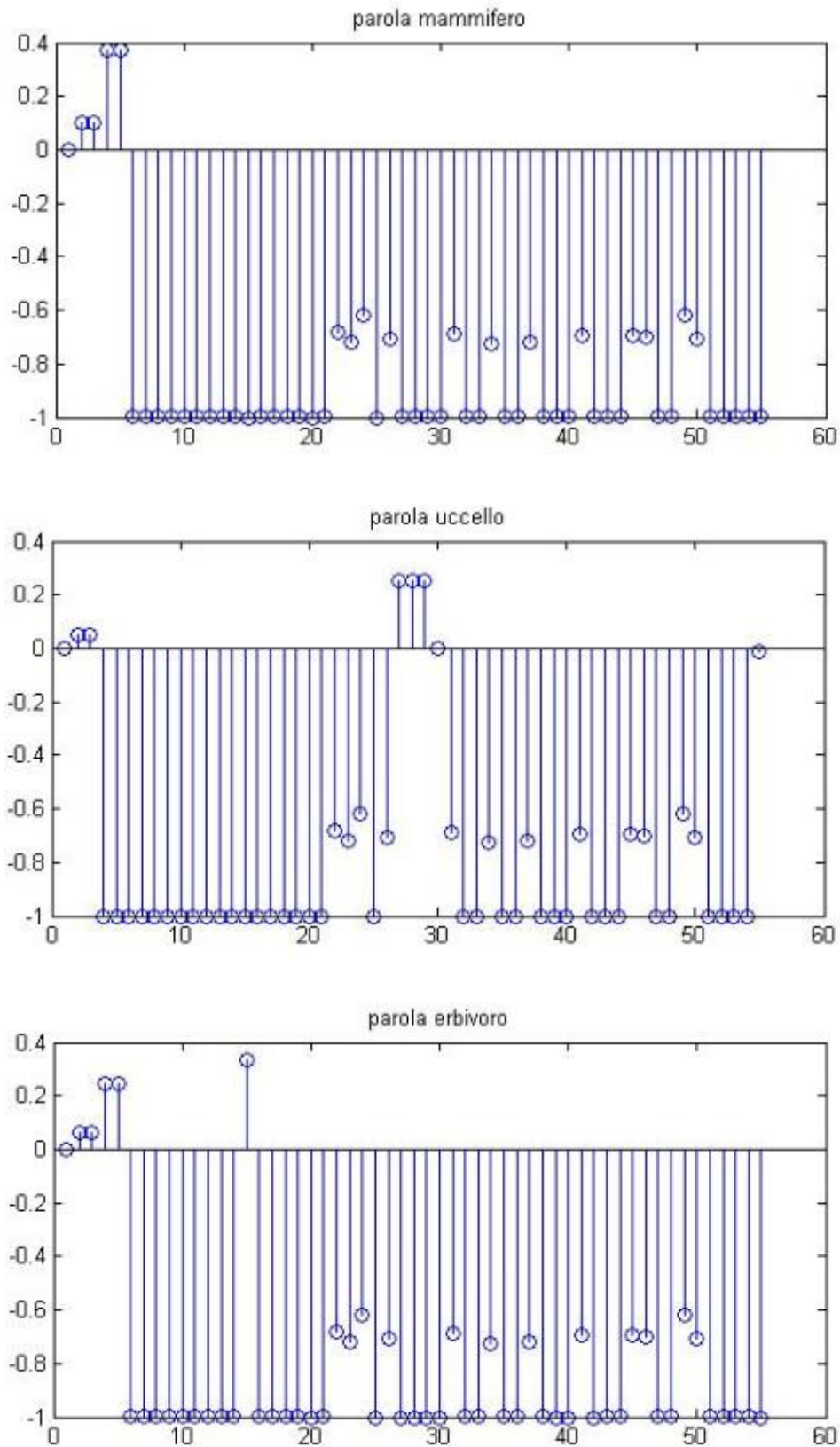


Questa volta è la caratteristica “mangia erba”, che appartenendo a 4 animali su 6, riceve sinapsi anche dalle proprietà del “cane” e del “gatto”.

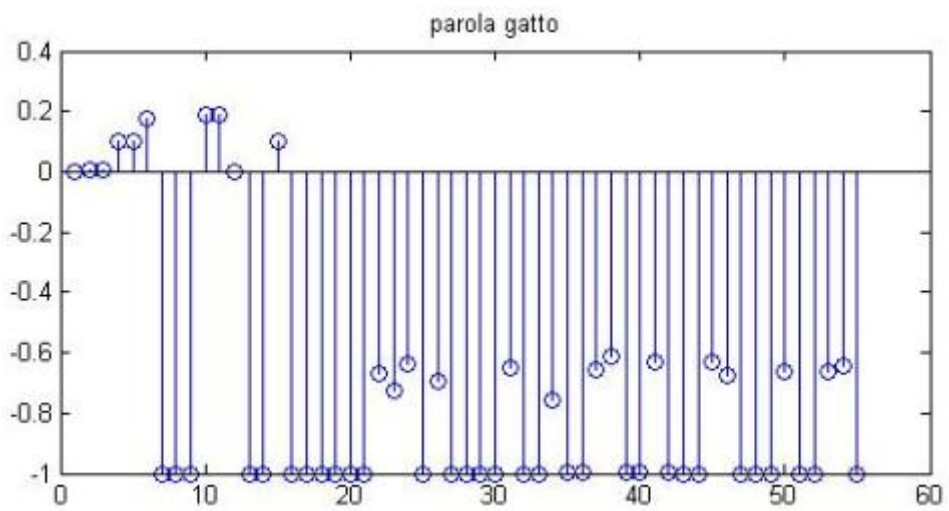
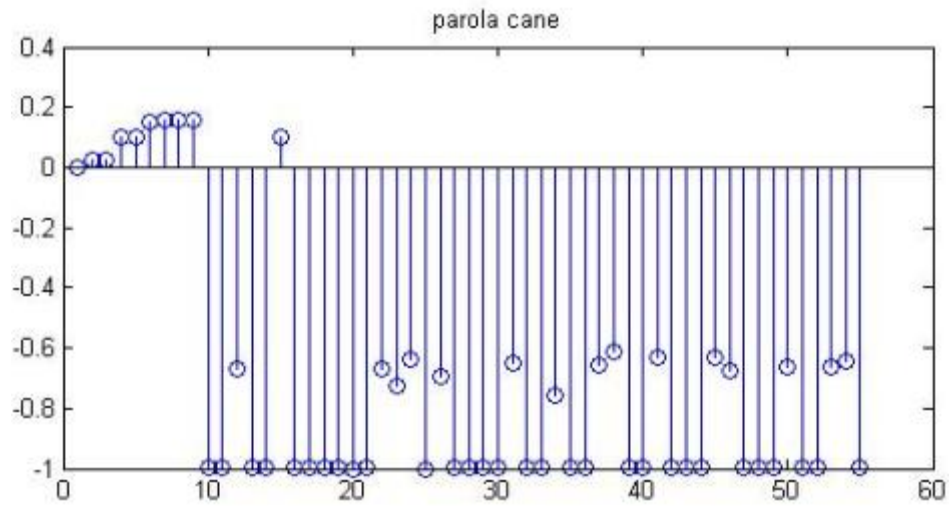
5.2.2 Addestramento lessicale – fase 2

Vediamo prima i grafici che rappresentano le sinapsi in ingresso alle parole. Utilizzare lo stesso numero di proprietà distintive per tutti gli animali migliora anche i risultati ottenuti dalla seconda fase, ogni parola riceve in ingresso le giuste proprietà.

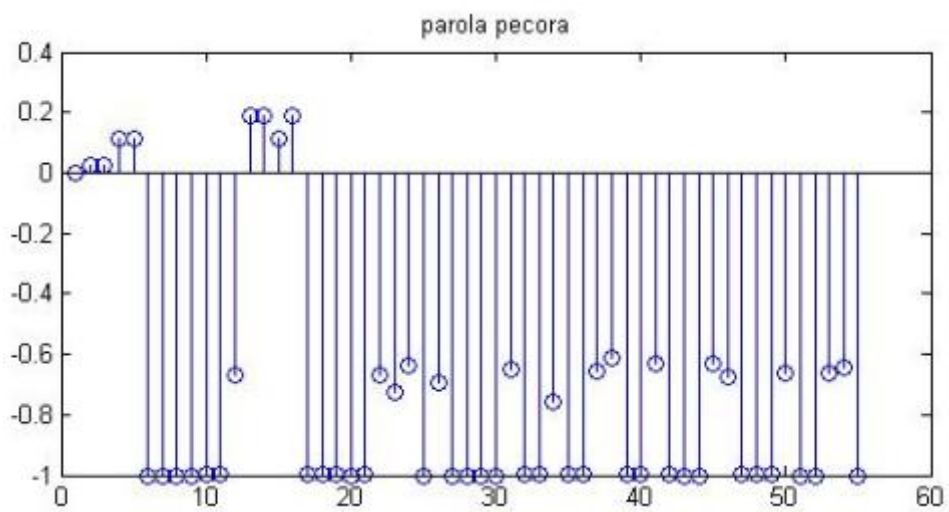


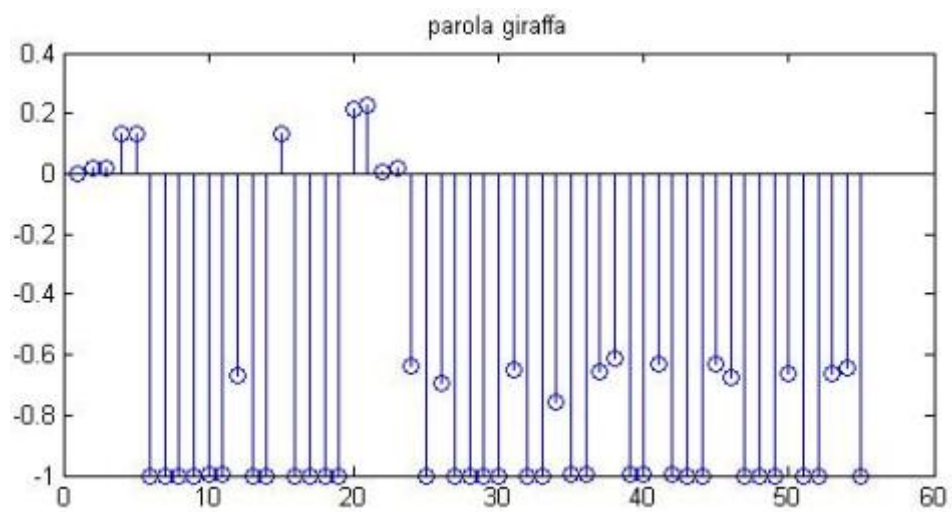
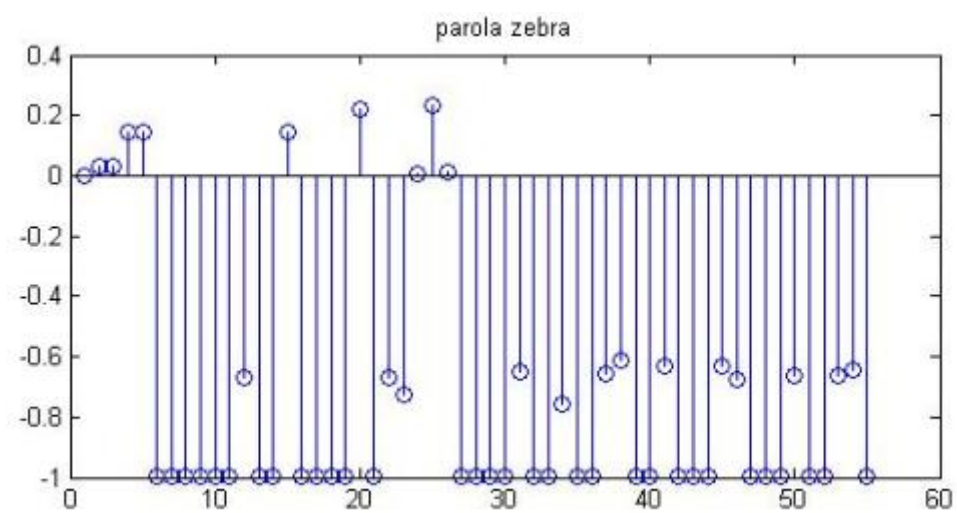
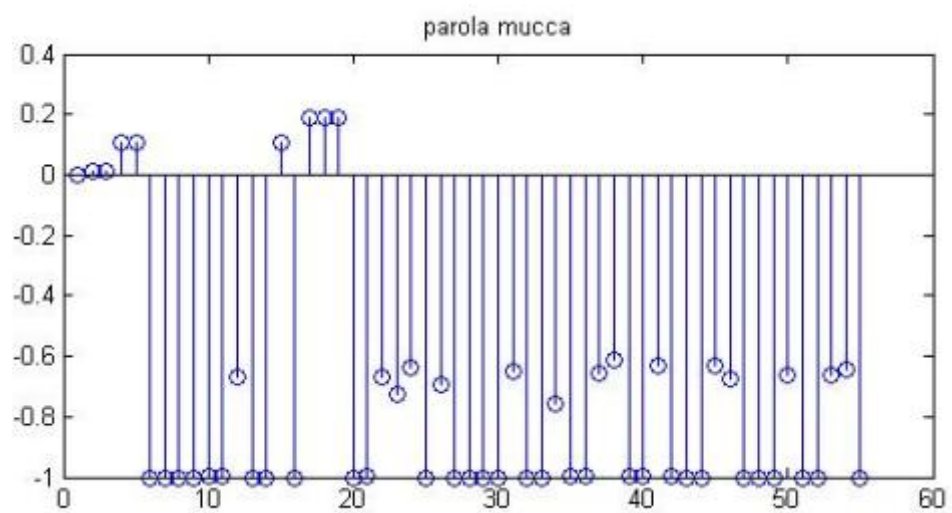


Si può notare che la proprietà “mangia erba” (la numero 15) invia sinapsi anche alle parole “cane ” e “gatto”, conseguenza dei risultati ottenuti dall’addestramento semantico.

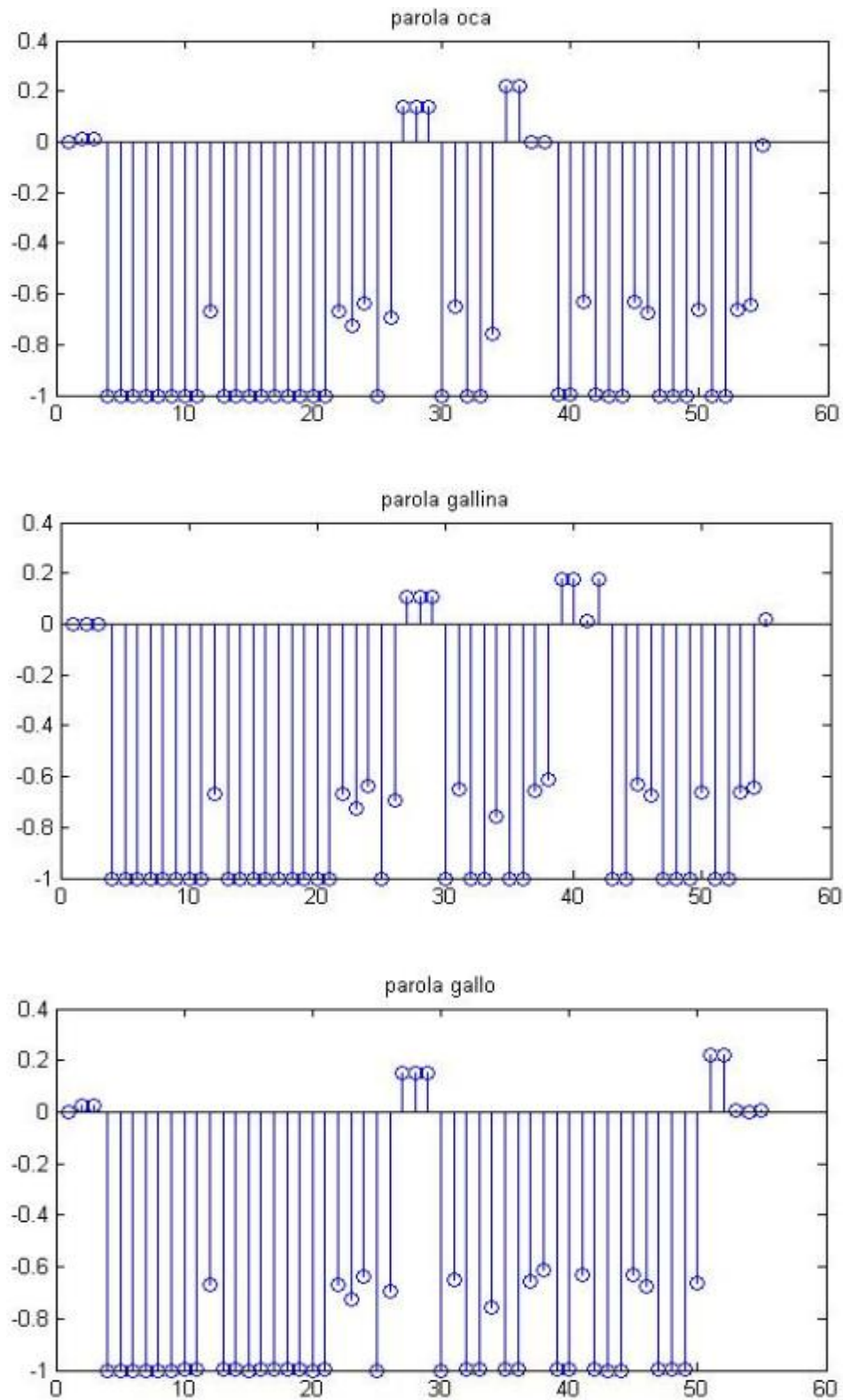


Per il resto degli animali, le sinapsi che entrano in ciascuna parola sono quelle che caratterizzano tale parola:

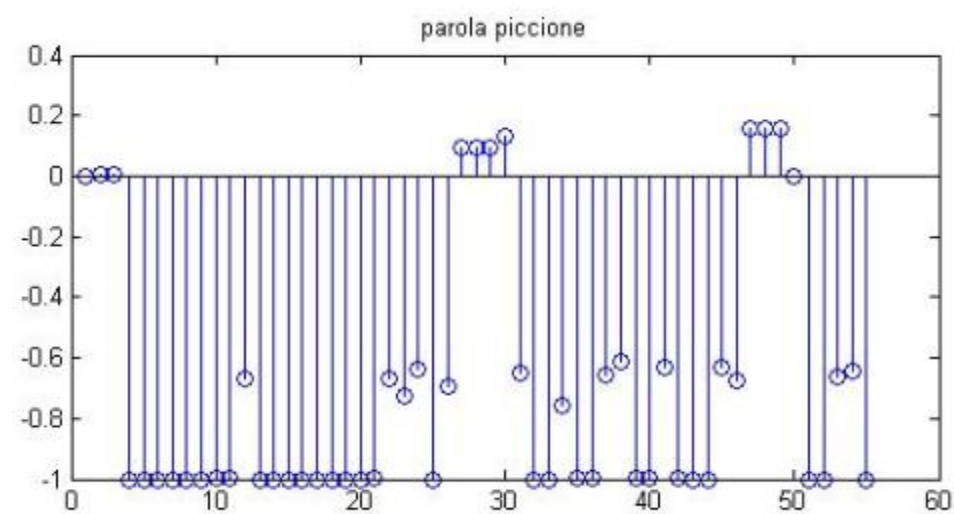
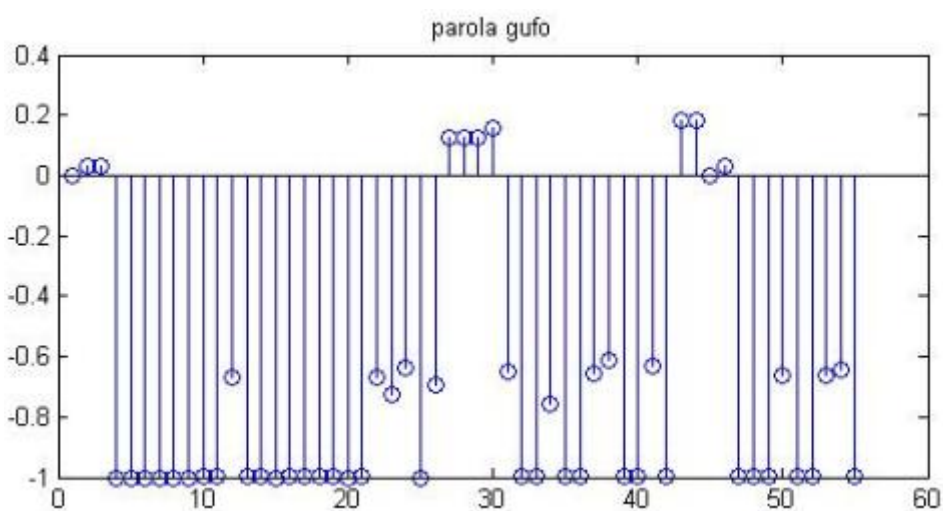
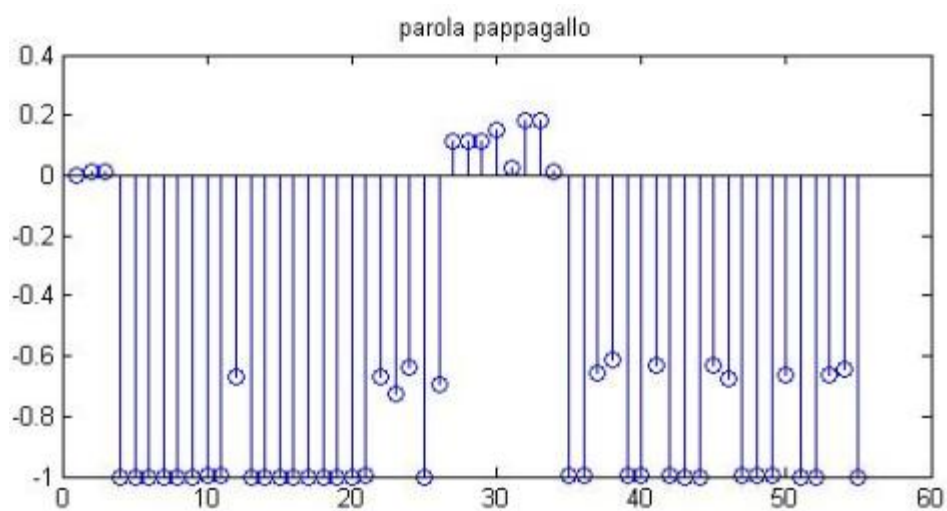




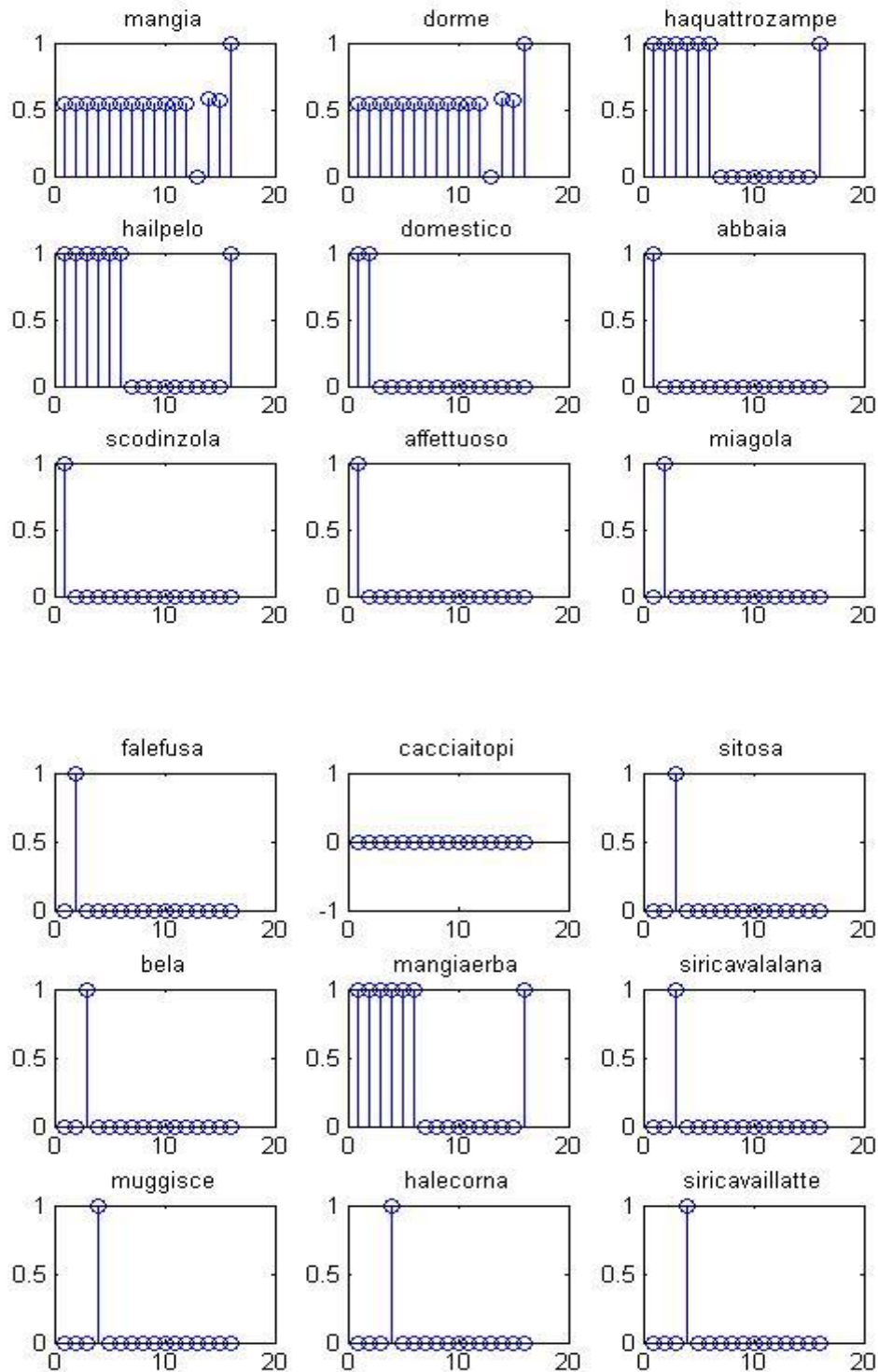
Per i primi tre uccelli (quelli che non volano) le sinapsi entranti nella parola sono le 3 che creano la categoria “uccello” e le proprietà salienti. Svolazza (la proprietà 55) essendo marginale non invia sinapsi.

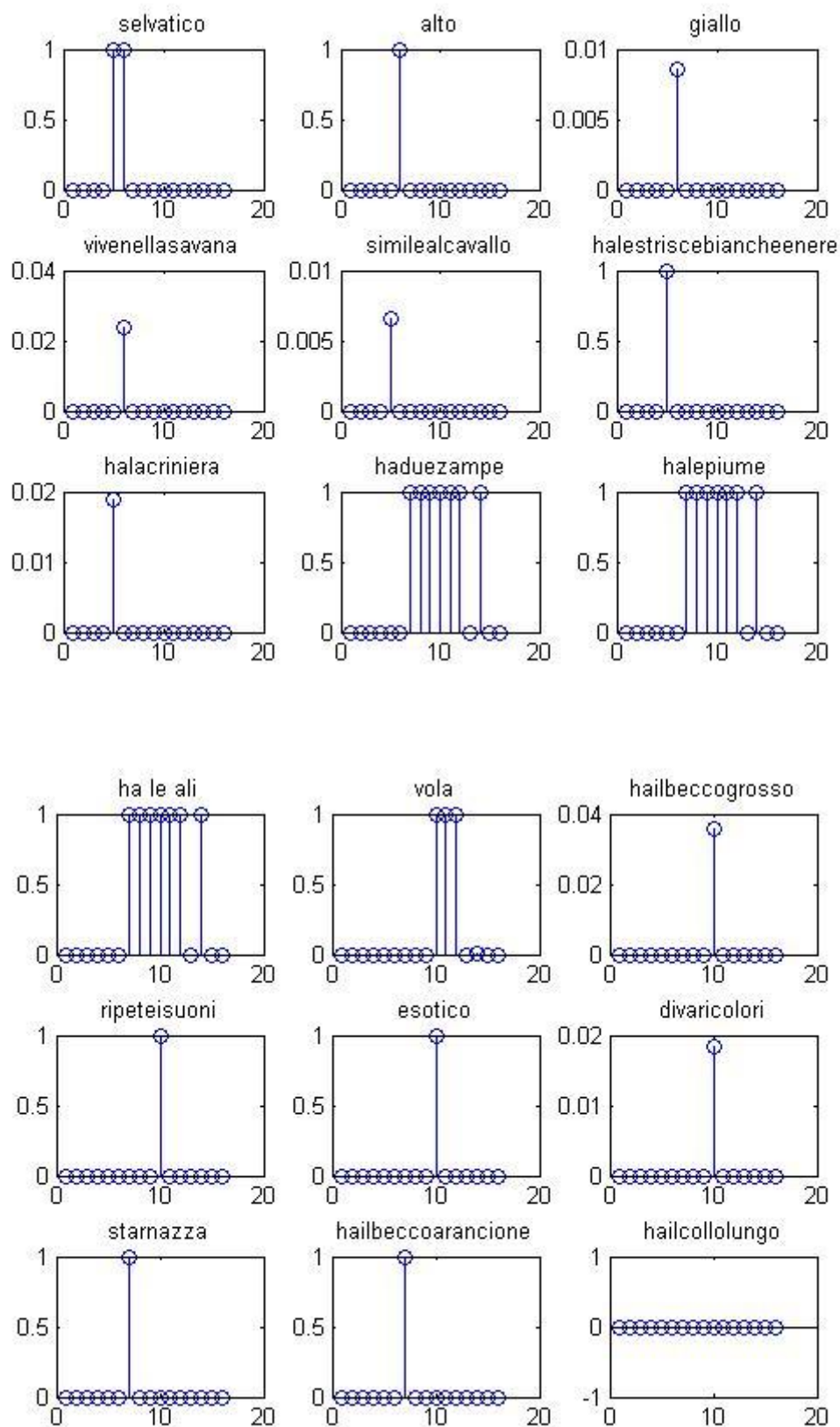


Invece, per questi uccelli la proprietà “vola” (saliente, numero 30) è presente.



Dai seguenti grafici, che mostrano la forza delle sinapsi che entrano in ognuna delle 54 proprietà dell'area semantica, dalle unità lessicali, si evince che non avremo problemi nel riconoscimento degli animali durante le simulazioni.



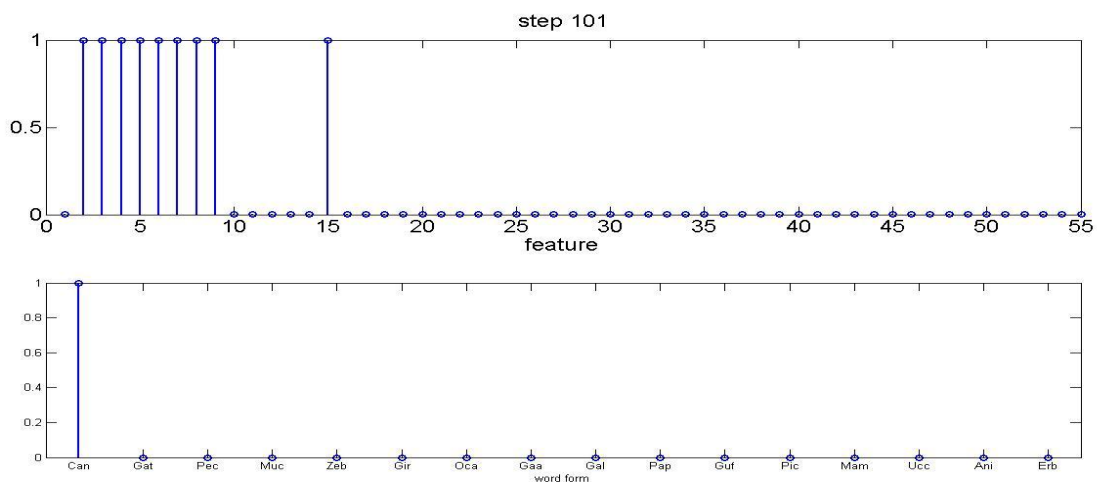




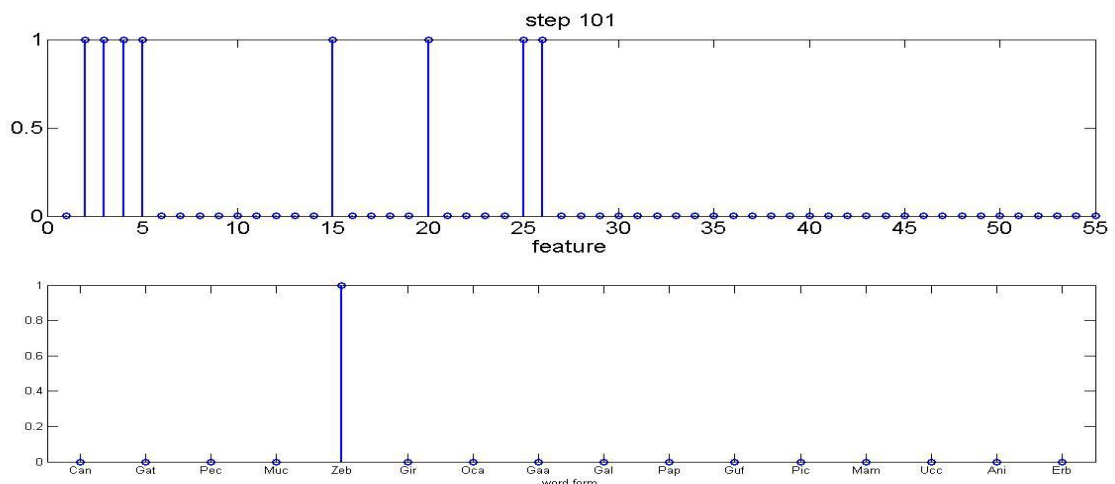
5.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti

Propongo alcune prove di denominazione di concetti, nelle quali abbiamo fornito in input alla rete delle proprietà e vediamo le parole che vengono evocate.

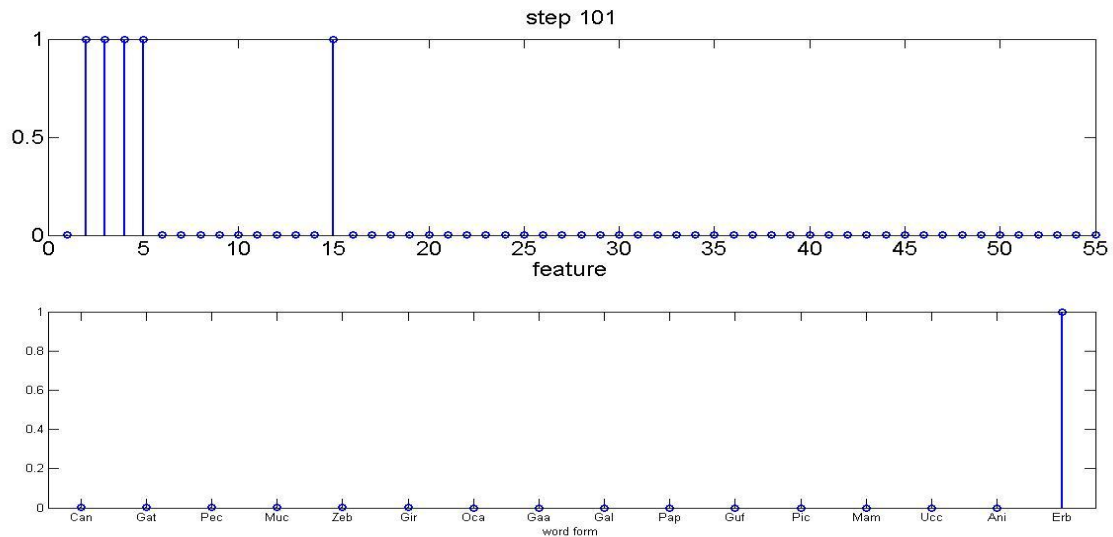
Dando in ingresso la proprietà saliente “abbaia”, la rete è in grado di evocare la parola “cane”. Sono state richiamate tutte le proprietà appartenenti al cane (poiché sono tutte salienti) e alla categoria “mammiferi” e “animale”, ma viene richiamata anche “mangia erba”(15).



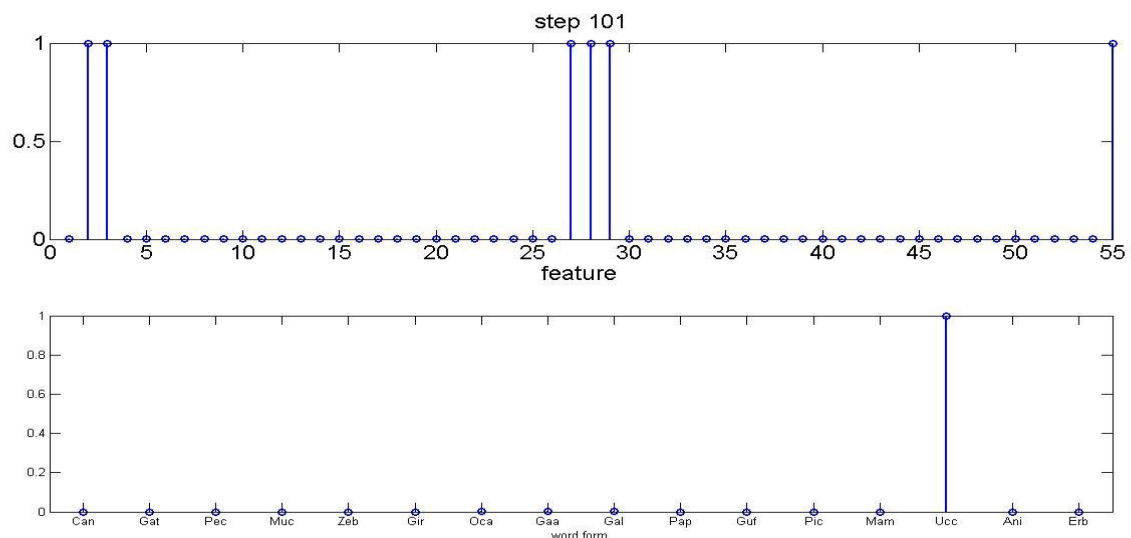
Diamo in ingresso una proprietà marginale “ha la criniera”, il modello riconosce la parola corretta “zebra”. Vengono richiamate solo le proprietà salienti, quindi la proprietà marginale “simile al cavallo” (24) non viene eccitata.



Se invece viene data in ingresso la proprietà “mangia erba”, il modello riconosce la categoria “erbivoro” e come è giusto che sia non richiama un animale specifico.



Con la proprietà “svolazza” il modello è in grado di dirci che è un uccello, anche in questo caso, non avendo una proprietà distintiva, ci viene restituita sola la categoria. La stessa cosa accade se viene data in ingresso la proprietà “vola”.



Dai risultati si evince che se sono date in input solo proprietà condivise, la rete riconosce correttamente la categoria corrispondente, e non evoca le

proprietà distintive dei singoli concetti; se sono stimulate le proprietà distintive, la rete riconosce il concetto corrispondente; le proprietà non salienti giocano un ruolo importante nel riconoscimento di un concetto, purché stimulate dall'input esterno, dato che non sono evocate dalle altre proprietà.

5.2.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole

I risultati riportati nella tabella 5.2 confermano che ogni parola corrispondente ad un concetto evoca tutte le sue proprietà salienti, e che le parole che rappresentano le categorie non evocano mai le proprietà distintive dei membri individuali. L'unico problema riguarda l'attribuzione della proprietà 15 ("mangia erba") al "cane" e al "gatto".

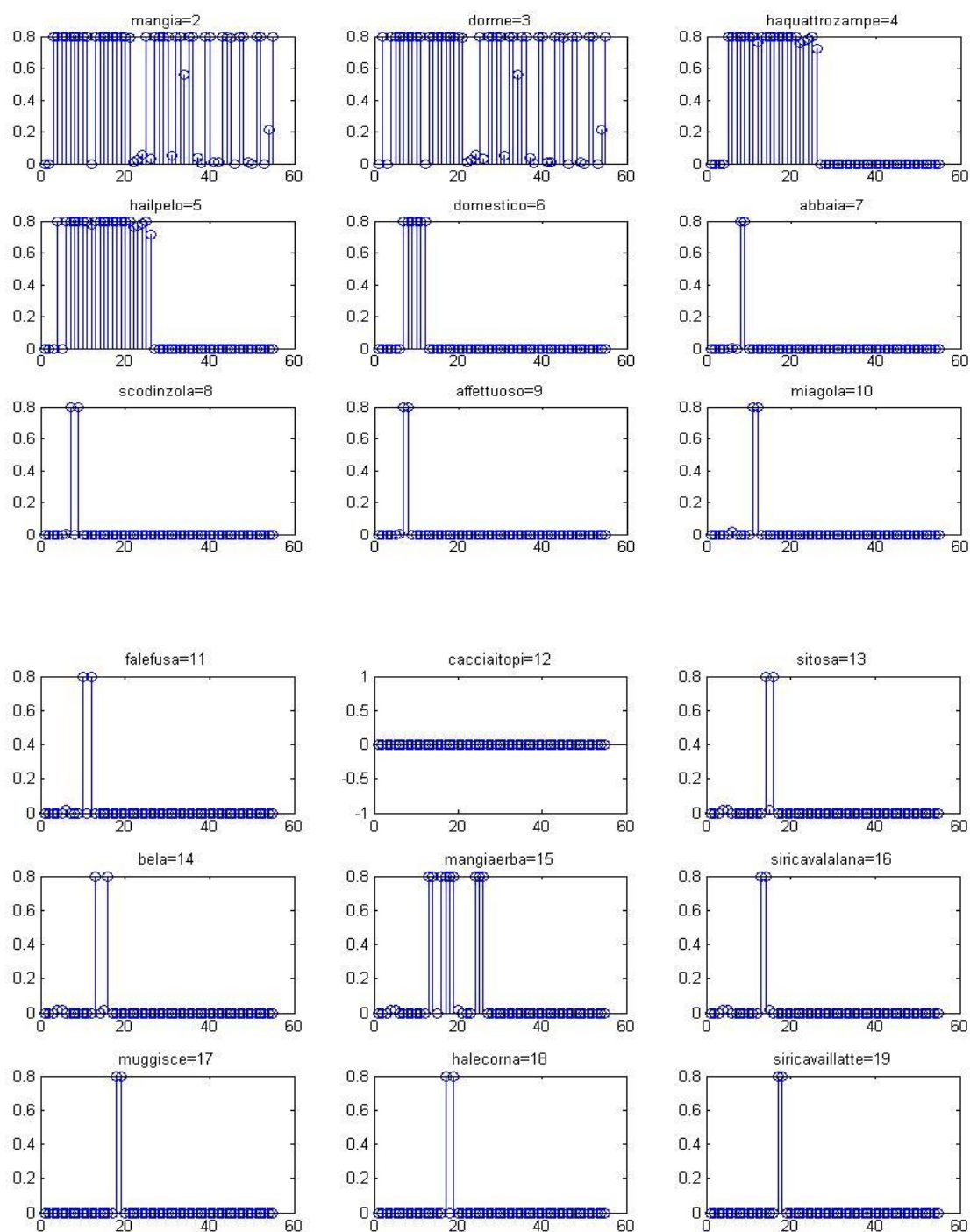
Word-form	Features
Animale	2,3
Mammifero	2,3,4,5
Uccello	2,3,27,28,29
Erbivoro	2,3,4,5,15
Cane	2,3,4,5,6,7,8,9,15
Gatto	2,3,4,5,6,10,11,15
Pecora	2,3,4,5,13,14,15,16
Mucca	2,3,4,5,15,17,18,19
Zebra	2,3,4,5,15,20,25
Giraffa	2,3,4,5,15,20,21
Oca	2,3,27,28,29,35,36
Gallina	2,3,27,28,29,39,40,42
Gallo	2,3,27,28,29,51,52
Pappagallo	2,3,27,28,29,30,32,33
Gufo	2,3,27,28,29,30,43,44
Piccione	2,3,27,28,29,30,47,48,49

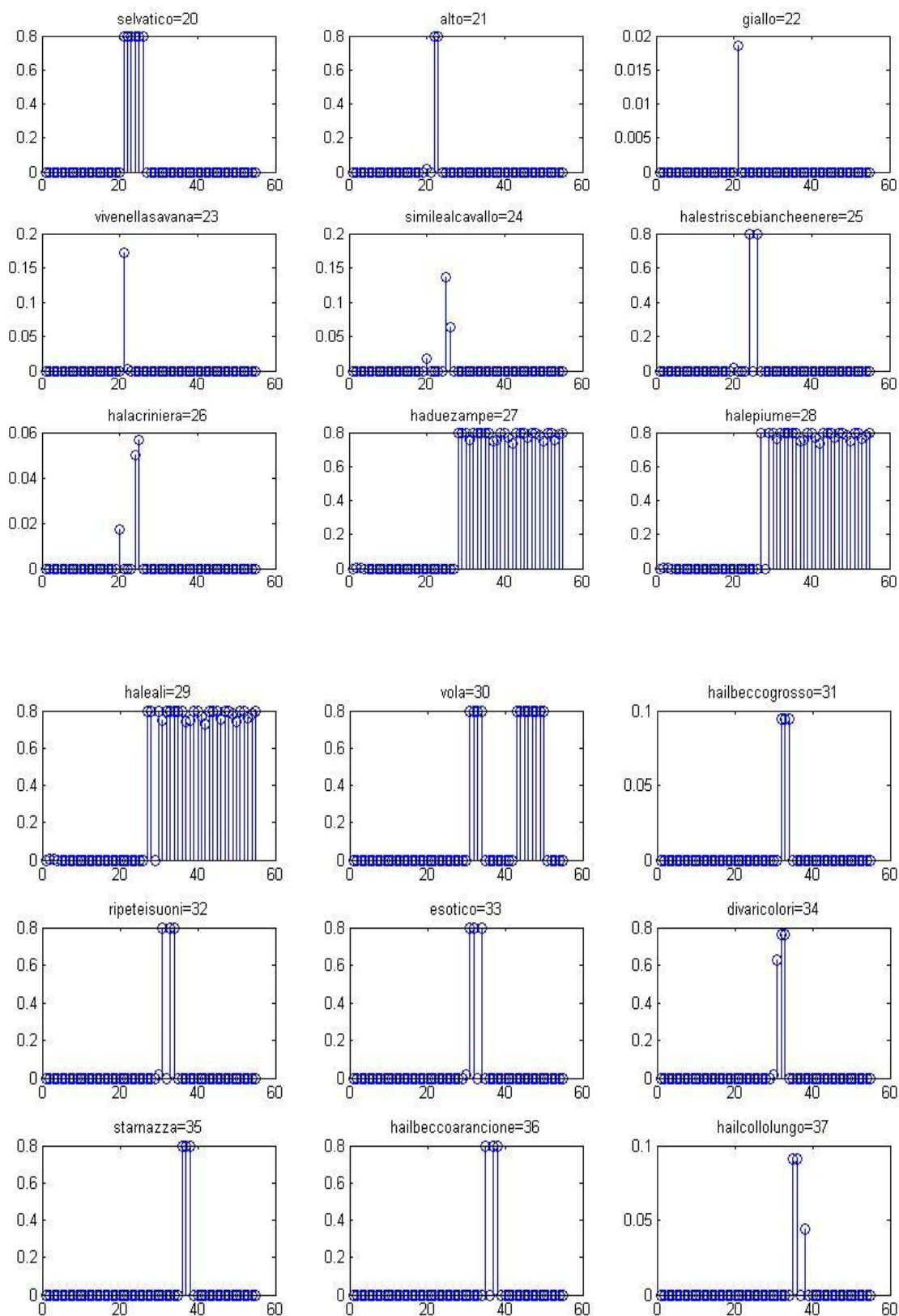
Tabella 5.2: risultati di diversi compiti di riconoscimento di parole, nei quali una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico. Le proprietà non salienti (percentuale minore del 55%) non sono evocate.

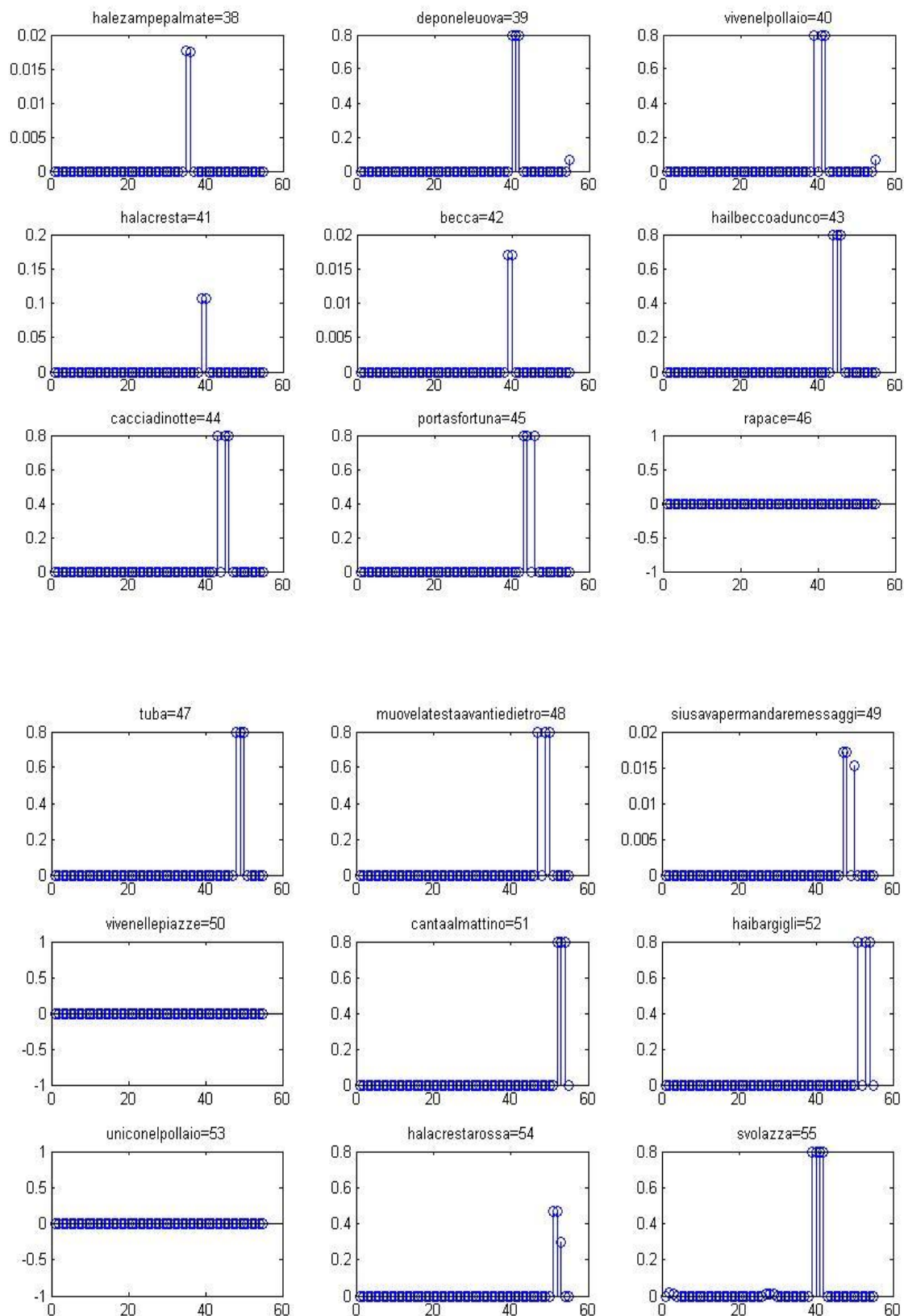
5.3 Risultati – soglia variabile

5.3.1 Addestramento semantico – fase 1

I vantaggi che il modello acquista con l'utilizzo della soglia variabile sono visibili anche in questo secondo modello. Vediamo i risultati ottenuti dalla fase 1.

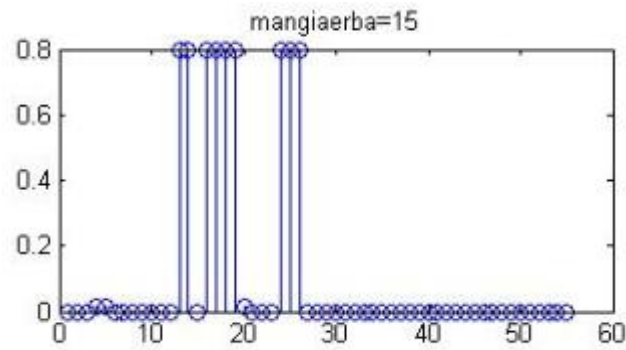






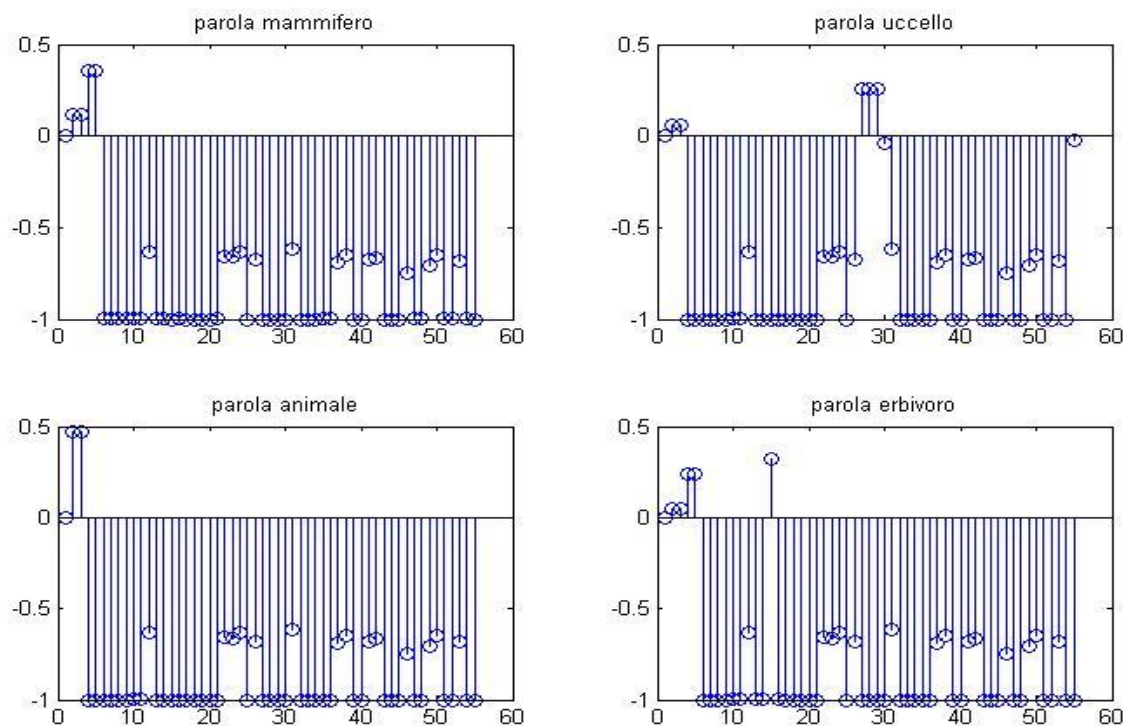
L'unico problema che ci dava la soglia fissa, relativo alla proprietà “mangia erba”, viene superato. Otteniamo, guardando il dettaglio, che le

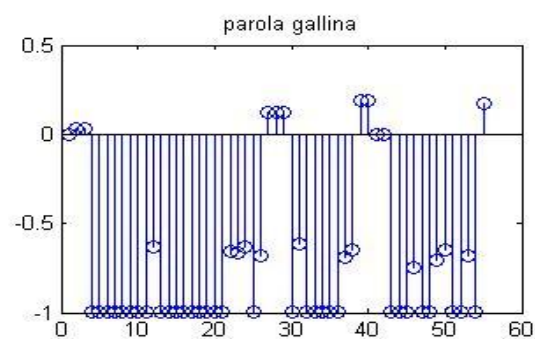
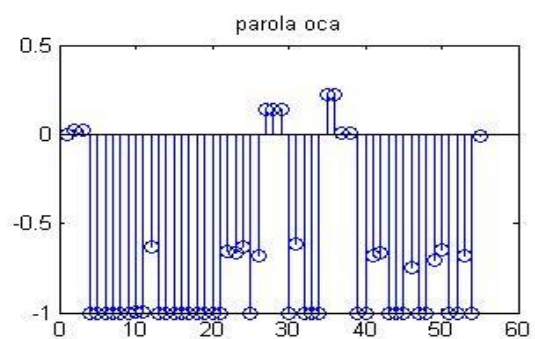
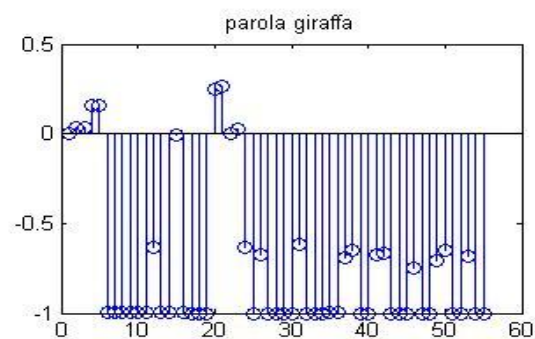
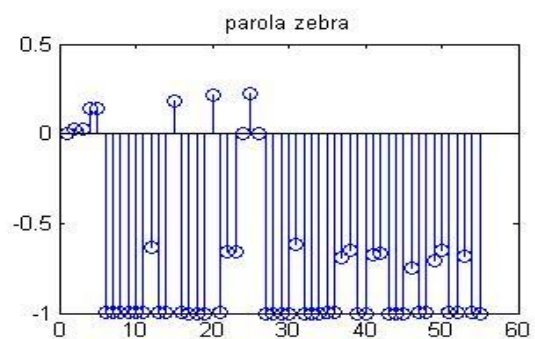
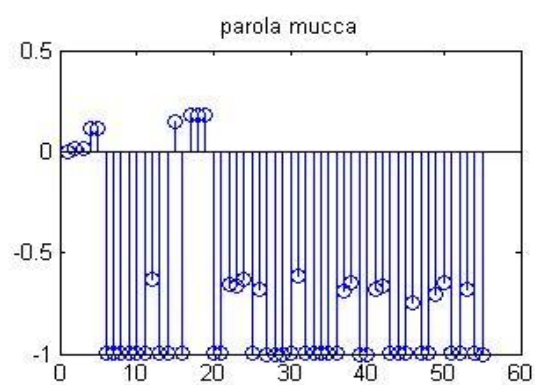
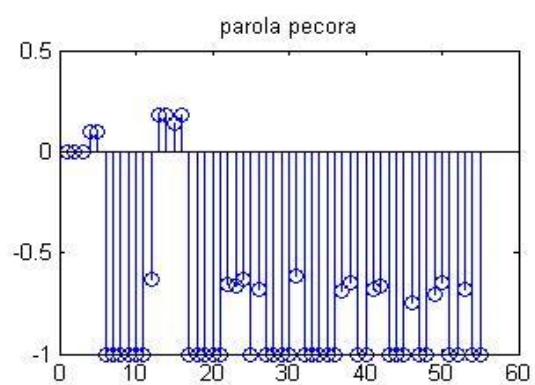
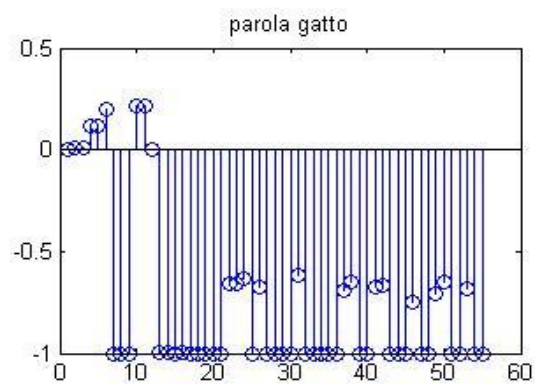
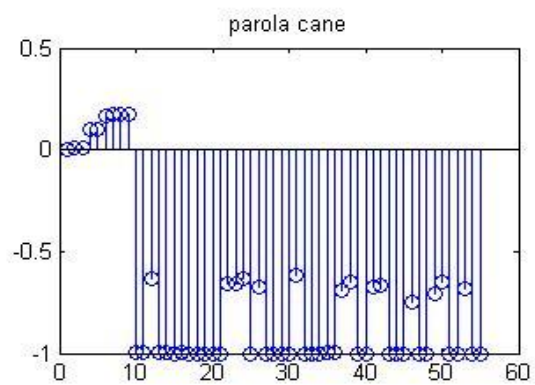
sinapsi si creano solo con le proprietà degli animali appartenenti alla categoria “erbivori”.

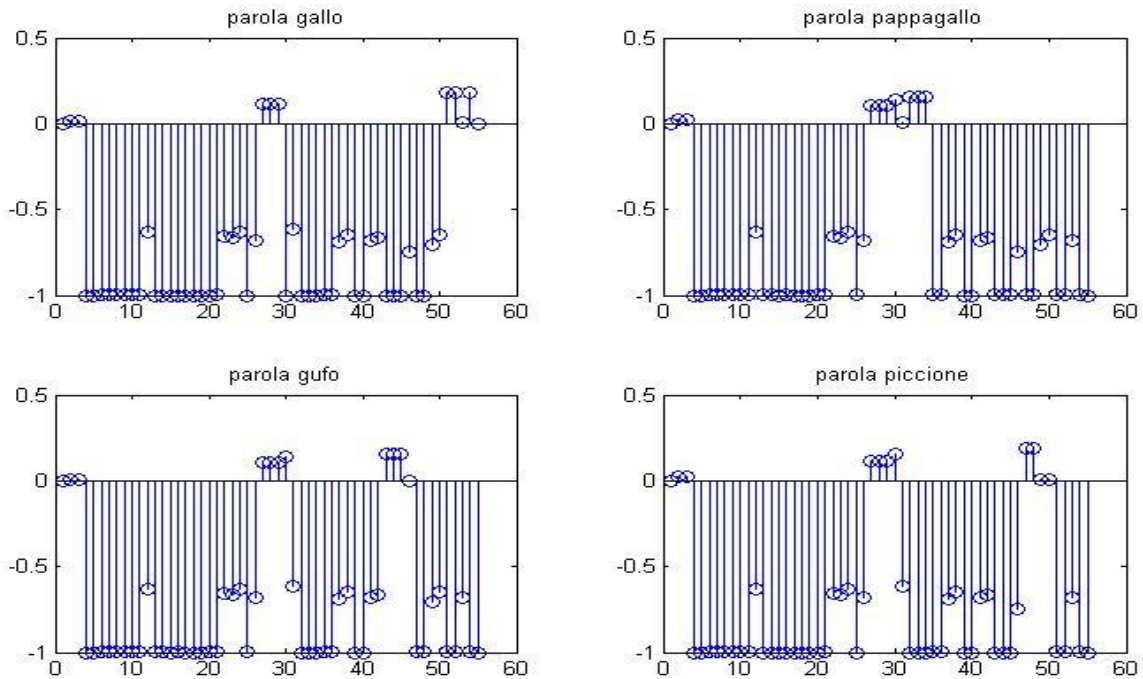


5.3.2 Addestramento lessicale – fase 2

Vediamo le sinapsi che entrano in ogni parola.



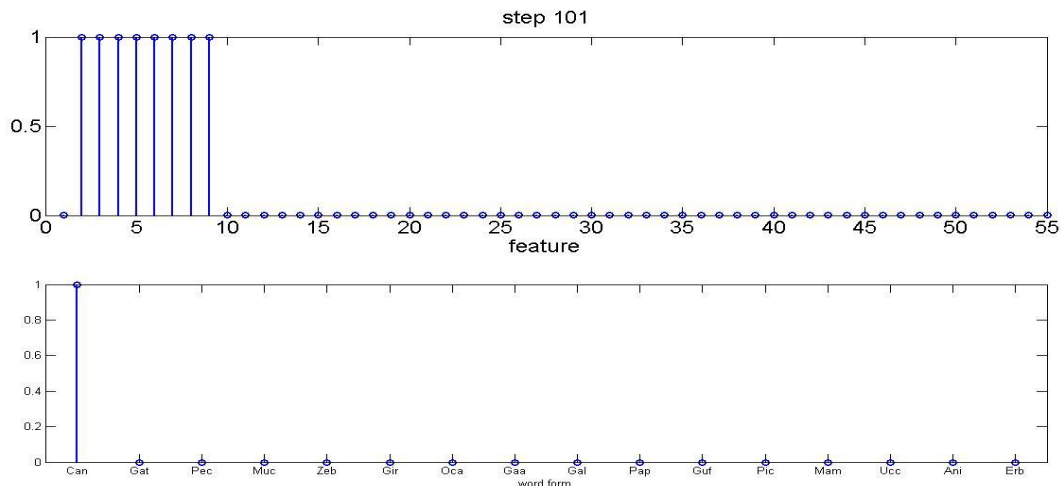




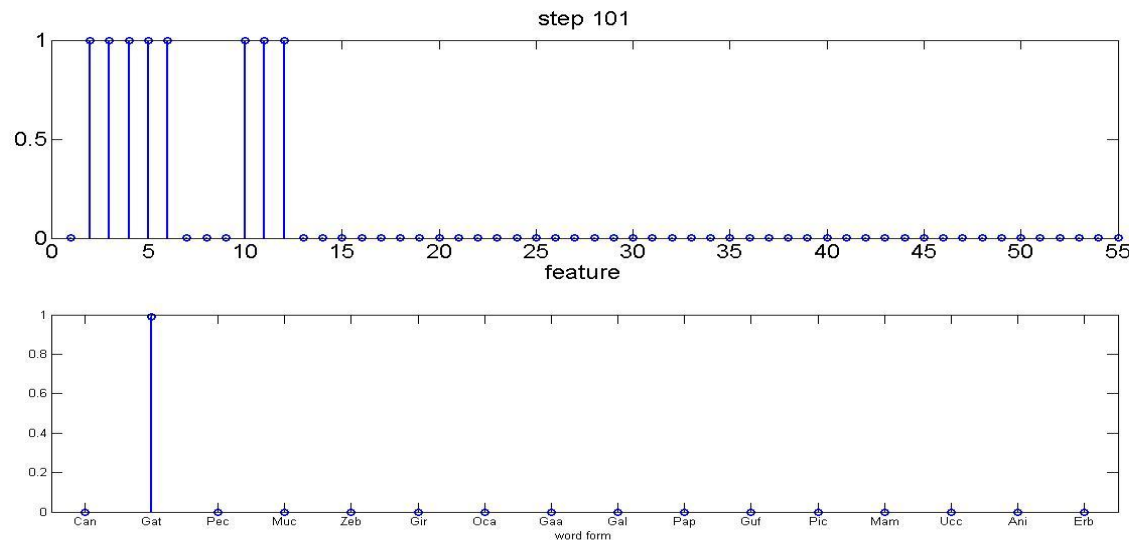
È evidente che il modello funziona benissimo. Ogni parola riceve sinapsi dalle proprietà che la caratterizzano, con una forza maggiore dalle proprietà salienti.

5.3.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti

Il limite che presentava questo secondo modello (con soglia fissa) era dato dall'attribuzione della proprietà "mangia erba" (15) al "cane" e al "gatto". Dando in ingresso la proprietà saliente "abbaia", la proprietà "mangia erba"(15) non viene richiamata, ma abbiamo solo le proprietà del "cane".



Anche con una proprietà marginale come “mangia i topi”, viene evocata la parola “gatto” e le proprietà che caratterizzano tale parola.



Altre simulazioni già con la soglia fissa davano i risultati desiderati.

5.3.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole

Ogni parola evoca tutte le sue proprietà salienti, le parole che rappresentano le categorie non evocano mai le proprietà distintive dei concetti individuali. La proprietà “mangia erba” (15) non viene evocata più indistintamente da tutti i mammiferi.

Word-form	Features
Animale	2,3
Mammifero	2,3,4,5
Uccello	2,3,27,28,29
Erbivoro	2,3,4,5,15
Cane	2,3,4,5,6,7,8,9
Gatto	2,3,4,5,6,10,11
Pecora	2,3,4,5,13,14,15,16
Mucca	2,3,4,5,15,17,18,19
Zebra	2,3,4,5,15,20,25
Giraffa	2,3,4,5,15,20,21
Oca	2,3,27,28,29,35,36

Gallina	2,3,27,28,29,39,40,42
Gallo	2,3,27,28,29,51,52
Pappagallo	2,3,27,28,29,30,32,33
Gufo	2,3,27,28,29,30,43,44
Piccione	2,3,27,28,29,30,47,48,49

Tab.5.3: una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico.

Capitolo 6

6. MODELLI CON OGGETTI

I modelli con tassonomia di oggetti (utensili da cucina, arredo, attrezzi da lavoro) hanno fatto abbandonare definitivamente l'apprendimento con soglia post-sinaptica fissa. Come vedremo, gli oggetti hanno molte features comuni, anche tra gli oggetti più diversi (es. un cucchiaino e una scrivania possono avere in comune la proprietà “sono di legno”). Questo, ripetuto per molti oggetti e molte proprietà, renderebbe impossibile la creazione di sinapsi corrette, ogni proprietà creerebbe sinapsi indistintamente con tutte le altre. D'ora in avanti adotteremo solo l'apprendimento con soglia variabile.

6.1 *Tassonomia primo modello_oggetti*

Per la scelta delle proprietà è stato utilizzato un metodo diverso dai modelli con gli animali. Per ogni oggetto sono state calcolate le mediane sulla *dominance* e sulla *Distinctiveness_Garrard*, le proprietà che hanno valori uguali a una delle due mediane sono state eliminate. Infatti, le proprietà che cadono sulla mediana della dominance, sono quelle che hanno la frequenza di occorrenza al 50%, quindi né salienti né marginali. Lo stesso vale per la *Distinctiveness_Garrard*, che considera la frequenza di occorrenza ma calcolata rispetto alla categoria. Con questo metodo si ha il vantaggio di non dover più scegliere le features in modo soggettivo, ma ha lo svantaggio che per alcuni oggetti si perdono caratteristiche distintive importanti (es. la forchetta perde la proprietà “è una posata”).

La prima tassonomia si basa su 11 oggetti, una super-categoria “oggetto” e due categorie “utensili da cucina” e “arredo”.

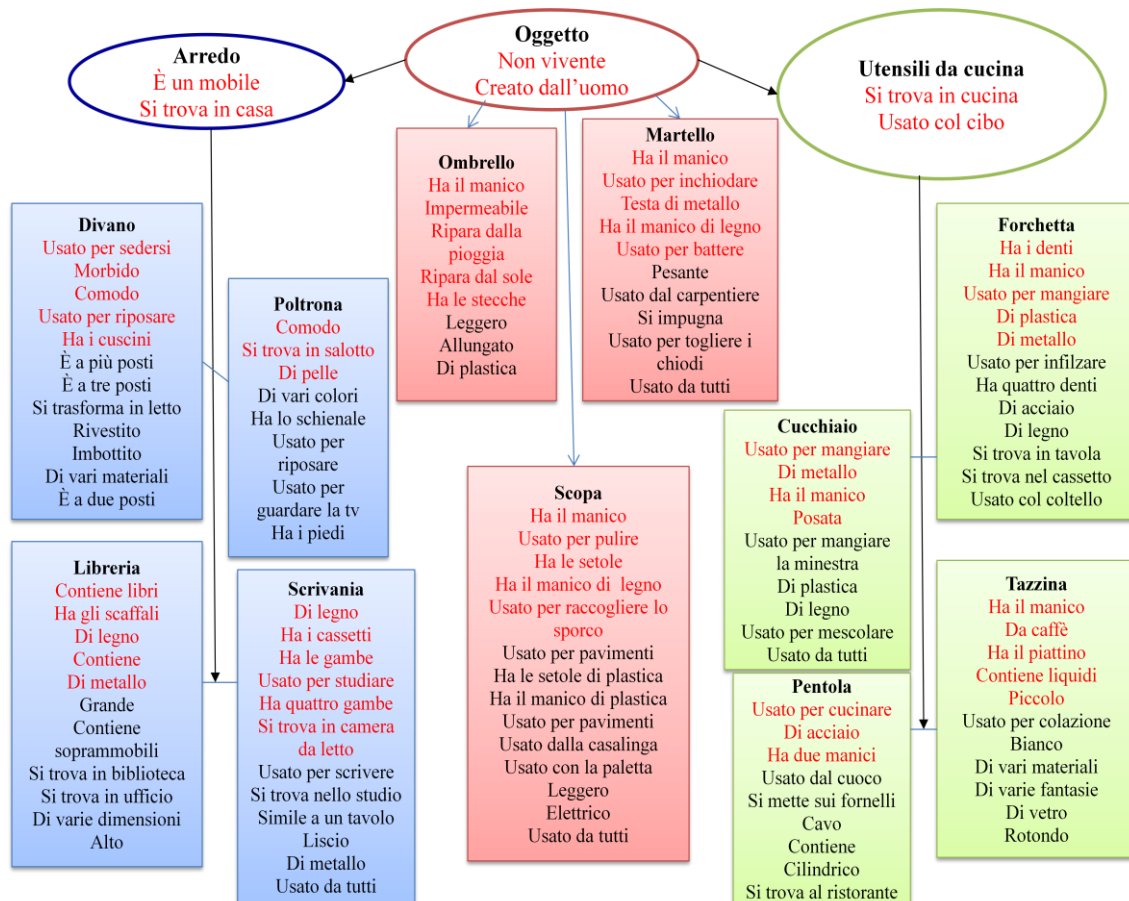


Fig.6.1: tassonomia primo modello_oggetti. In rosso le caratteristiche salienti.

Alcuni oggetti “ombrello”, “scopa”, “martello”, non fanno parte di una specifica categoria, ma rientrano negli “oggetti”. Abbiamo 97 proprietà, riportate qui sotto, con la posizione che occupano all’interno della rete. Le frequenze sono 65% per le salienti e 45% per le marginali, in alcuni casi la stessa proprietà ha frequenza diversa a seconda dell’oggetto che descrive.

Vediamo l’elenco delle proprietà e la posizione che assumono all’interno della rete:

```

hailmanico=2;
daccaffe=3;
hailpiattino=4;
contieneliquidi=5;
piccolo=6;
usatopercolazione=7;
bianco=8;
divarimateriali=9;
divariefantasie=10;
divetro=11;
rotondo=12;

```

```

haidenti=13;
usatopermangiare=14;
diplastica=15;
dimetallo=16;
usatoperinfilzare=17;
haquattrodenti=18;
diacciaio=19;
dilegno=20;
sitrovaintavola=21;
sitrovanelcassetto=22;
usatocolcoltello=23;

```

posata=24;	dipelle=61;
usatopermangiarelaminestra=	divaricolori=62;
25;	haloschienale=63;
usatopermescolare=26;	usatoperriposare=64;
usatodatutti=27;	usatoperguardarelatv=65;
usatopercucinare=28;	haipiedi=66;
haduemanici=29;	usatopersedersi=67;
usatodalcuoco=30;	morbido=68;
simettesuifornelli=31;	haicuscini=69;
cavo=32;	hapiuposti=70;
contiene=33;	hatreposti=71;
cilindrico=34;	sitrasformainletto=72;
sitrovaalristorante=35;	rivestito=73;
usatoperbattere=36;	imbottito=74;
manicodilegno=37;	hadueposti=75;
testadimetallo=38;	contienelibri=76;
usatoperinchiodare=39;	hagliscaffali=77;
pesante=40;	grande=78;
usatodalcarpentiere=41;	contienesoprammobili=79;
siimpugna=42;	sitrovainbiblioteca=80;
usatopertogliereichiodi=43;	sitrovainufficio=81;
usatoperpulire=44;	divariedimensioni=82;
halesetole=45;	alto=83;
usatoperraccoglierełosporco	haicassetti=84;
=46;	halegambe=85;
usatoperpavimenti=47;	haquattrogambe=86;
halesetolediplastica=48;	sitrovaincameradaletto=87;
manicodiplastica=49;	usatoperscrivere=88;
usatodallacasalinga=50;	sitrovanellostudio=89;
usatoconlapaletta=51;	simileauntavolo=90;
leggero=52;	liscio=91;
elettrica=53;	usatoperstudiare=92;
impermeabile=54;	sitrovaincucina=93;
allungato=55;	usatocolcibo=94;
riparadallapioggia=56;	unmobile=95;
riparadalsole=57;	sitrovaincasa=96;
halestecche=58;	creatodalluomo=97;
comodo=59;	nonvivente=98;
sitrovainsalotto=60;	

I nomi dei concetti, quindi la parola associata ad ogni unità lessicale e le posizioni corrispondenti sono:

OGGETTI

tazzina=1;
forchetta=2;
cucchiaino=3;
pentola=4;
martello=5;
scopa=6;
ombrello=7;

divano=8;
poltrona=9;
libreria=10;
scrivania=11;

CATEGORIE

utensilidacucina=12;
arredo=13;
oggetto=14;

6.1.1 Parametri

Per i modelli con gli oggetti i parametri sono stati modificati. Avere un numero maggiore di proprietà non consentiva, con i vecchi parametri, di distinguere le parole. Le modifiche riguardano: la soglia post-sinaptica variabile θ_{ij}^{SS} che varia tra 0.55 e 0.95 (nei modelli con animali $\theta_{ij}^{SS}=0.55\div0.90$); γ_0 , che determina la velocità con cui si va a saturazione, portato da 0.05 (valore usato nei modelli con animali) a 0.02, con valori più bassi aumenta il tempo di salita.

<i>Significato</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Valore</i>
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide	p	100
Posizione sigmoide	φ	0.55
Soglia post-sinaptica SS	θ_{post}^{SS}	0.55÷0.95
Soglia pre-sinaptica SS	θ_{pre}^{SS}	0.05
Rateo apprendimento SS	γ_0	0.02
Massima forza sinaptica SS	W_{max}	0.8

Tab.6.1: valori dei parametri per l'addestramento della rete semantica.

<i>Significato</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Valore</i>
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide	p	100
Posizione sigmoide	φ	0.55
Soglia post-sinaptica SL	θ_{post}^{SL}	0.55
Soglia pre-sinaptica SL	θ_{pre}^{SL}	0.05
Rateo apprendimento SL	γ^{SL}	0.01
Massima forza sinaptica SL	W_{max}^{SL}	0.8
Soglia post-sinaptica LS	θ_{post}^{LS}	0.05
Soglia pre-sinaptica LS	θ_{pre}^{LS}	0.55
Rateo apprendimento LS	γ^{LS}	0.01
Somma massima delle sinapsi LS	Γ_{max}	1

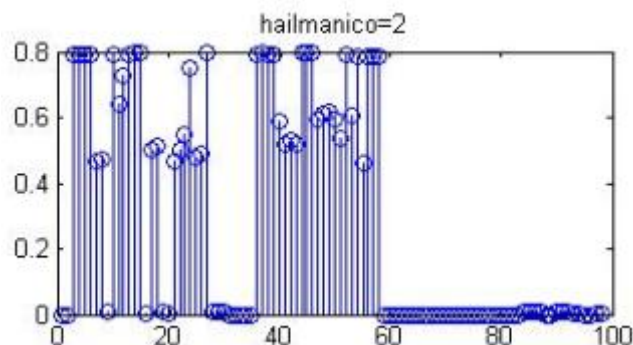
Tab.6.2: valori dei parametri per l'addestramento della rete lessicale.

6.2 Risultati

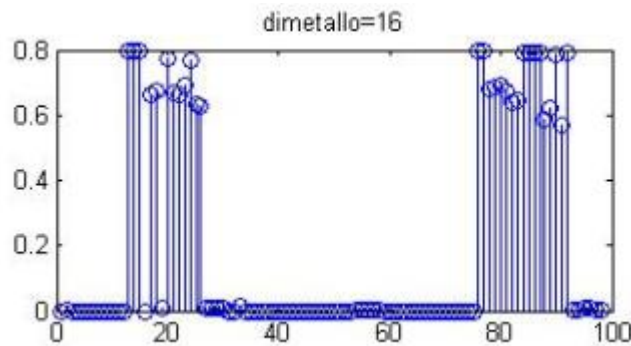
6.2.1 Addestramento semantico – fase 1

Mostrerò solo i risultati più significativi.

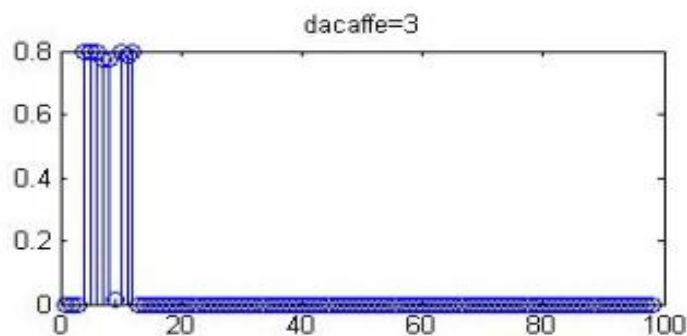
La proprietà “ha il manico” appartiene a 6 oggetti su 11, ma le sinapsi che riceve sono solo dalle proprietà di quei 6 oggetti. La tassonomia di questo modello, così com'è fatta, rende il compito del modello più difficile, con l'apprendimento a soglia fissa non sarebbe riuscito ad arrivare a questi risultati. Crea perfettamente sinapsi forti con le proprietà salienti dei rispettivi oggetti, sinapsi meno forti con quelle marginali.



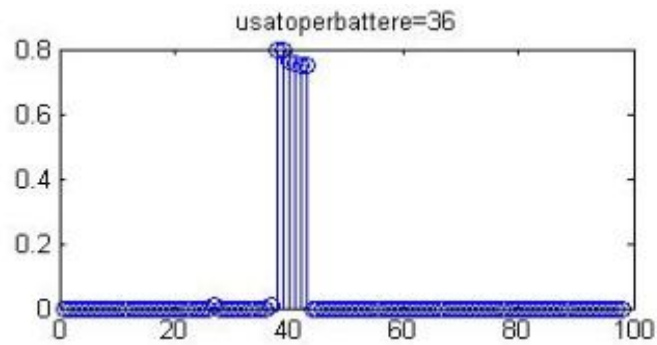
Un'altra proprietà, che appartiene ad oggetti di categorie diverse (forchetta, libreria, scrivania), “di metallo” riceve sinapsi solo dalle proprietà di questi oggetti.



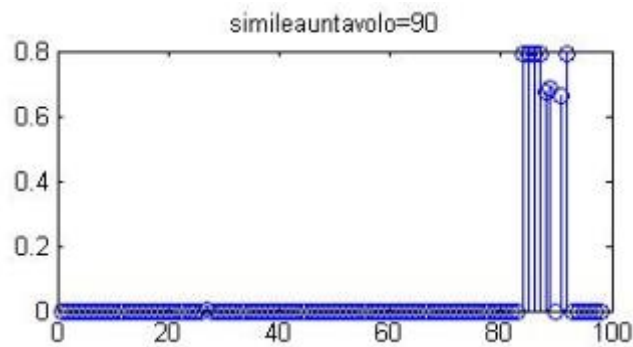
Per le proprietà distintive la rete si comporta correttamente. La proprietà “da caffè” (saliente) che descrive la “tazzina”, riceve sinapsi da tutte le proprietà della tazzina (ha il piattino=4, contiene liquidi=5, piccolo=6, usato per colazione=7, bianco=8, di varie fantasie=10, di vetro=11, rotondo=12).



La proprietà del “martello”, “usato per battere” (saliente) riceve sinapsi dalle altre proprietà dell’oggetto (testa di metallo=38, usato per inchiodare=39, pesante=40, usato dal carpentiere=41, si impugna=42, usato per togliere i chiodi=43).



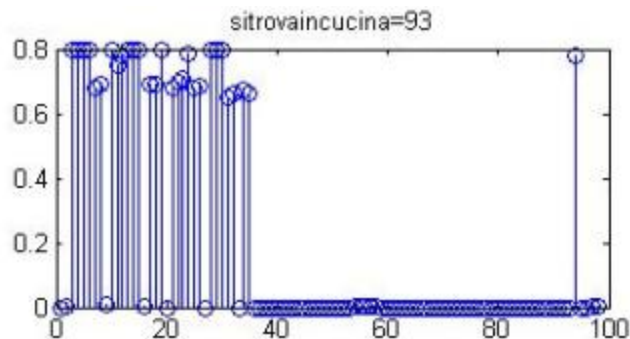
Anche la proprietà marginale “simile ad un tavolo”, riceve sinapsi dalle altre proprietà della “scrivania”(ha i cassetti=84, ha le gambe=85, ha quattro gambe=86, si trova in camera da letto=87, usato per scrivere=88, si trova nello studio=89, liscio=91), ciò significa che, in questa tassonomia, vengono evocate anche proprietà marginali, cioè il concetto di marginalità è meno drastico.

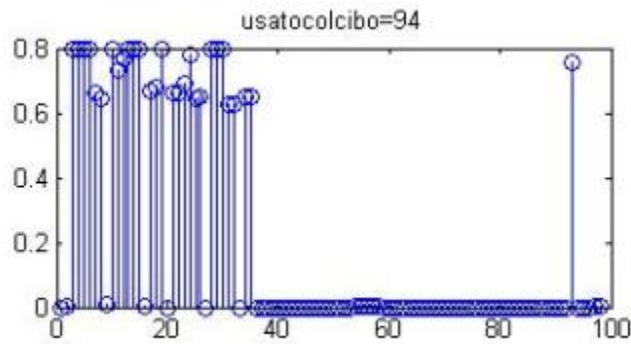


Questo accade per tutte le proprietà distintive, salienti o marginali.

Vediamo, invece, le proprietà che formano le categorie.

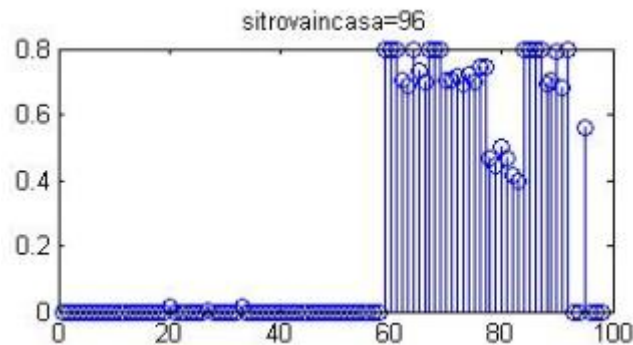
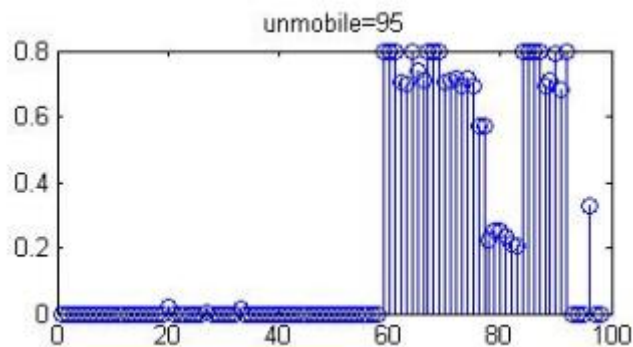
Per la categoria “utensili da cucina”, abbiamo:



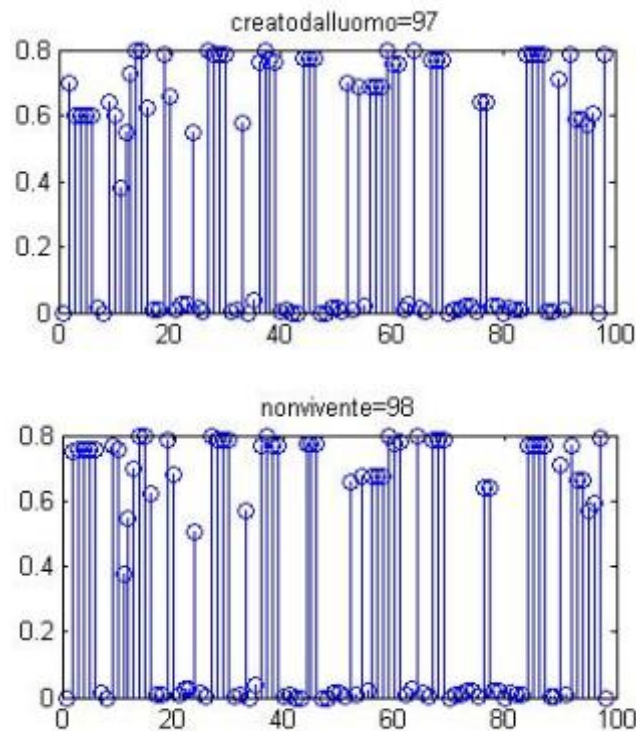


Ricevono sinapsi dalle proprietà di “tazzina”, “forchetta”, “cucchiaino” e “pentola”, oltre a richiamarsi reciprocamente.

Per la categoria “arredo”, le due proprietà che la formano ricevono sinapsi dalle proprietà di “divano”, “poltrona”, “scrivania”, “libreria”.

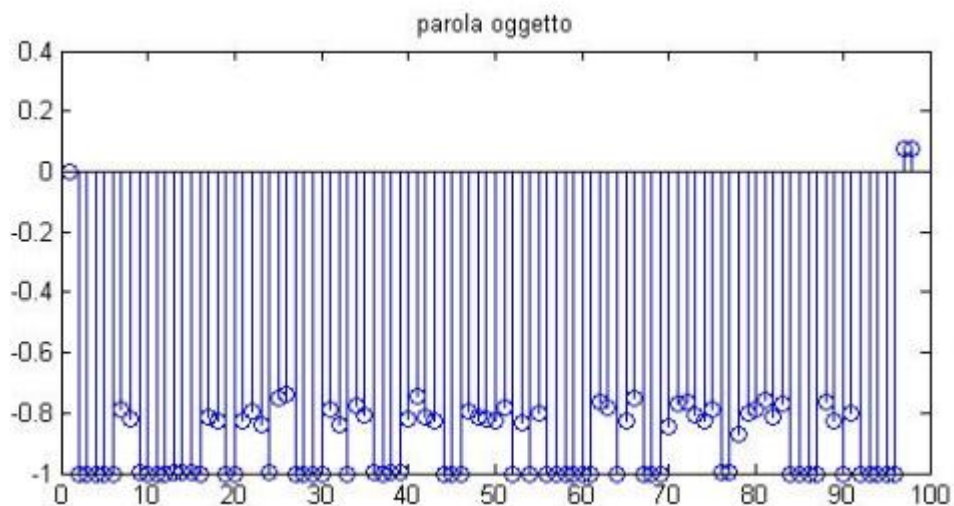


Infine, per la categoria “oggetti”, nel quale rientrano tutti gli 11 oggetti, le proprietà “creato dall’uomo” e “non vivente” ricevono sinapsi da tutte le proprietà salienti.

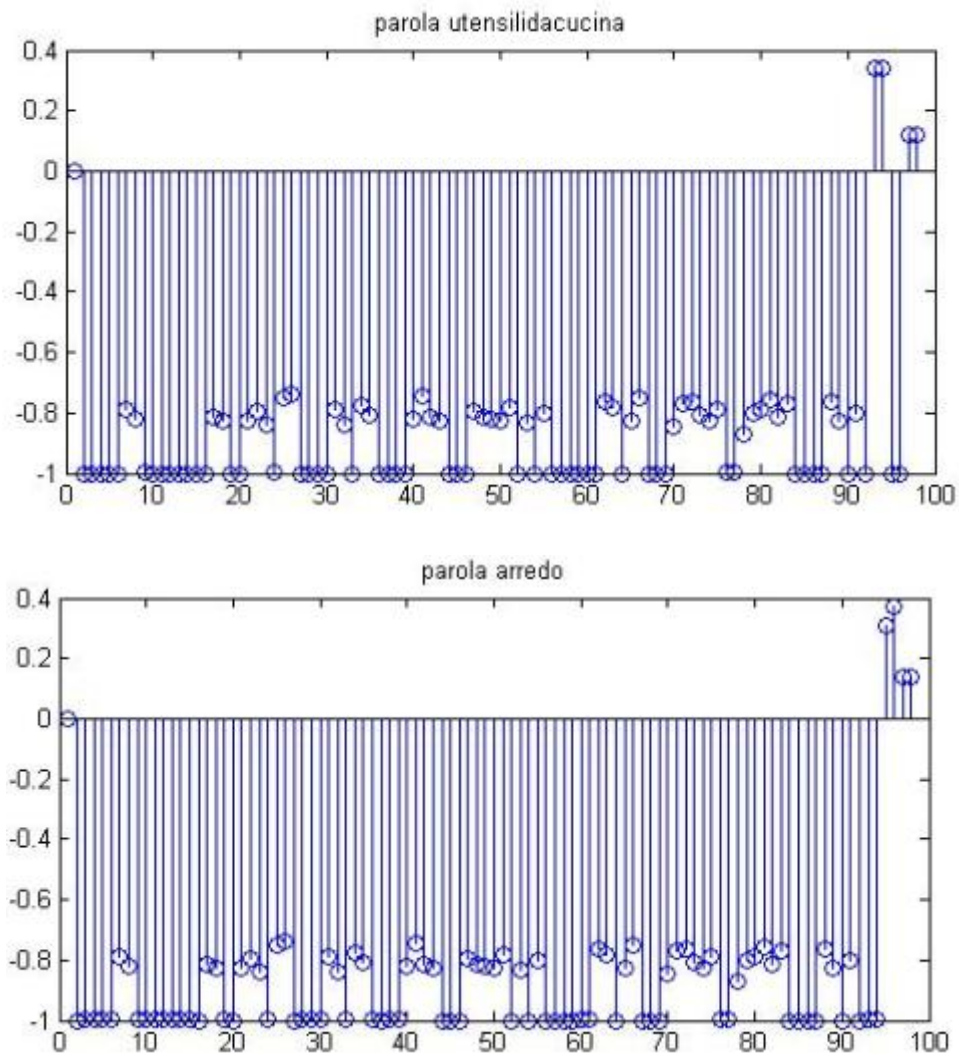


6.2.2 Addestramento lessicale – fase 2

Vediamo i grafici che mostrano la forza delle sinapsi (in ordinata) che entrano in ciascuna delle 15 unità lessicali, da ogni unità semantica. Per questa tassonomia è stato necessario aumentare il numero delle prove ad 800. Prima verranno mostrati i grafici che rappresentano le sinapsi in ingresso alle parole relative alle 3 categorie “oggetto”, “utensili da cucina” e “arredo”:

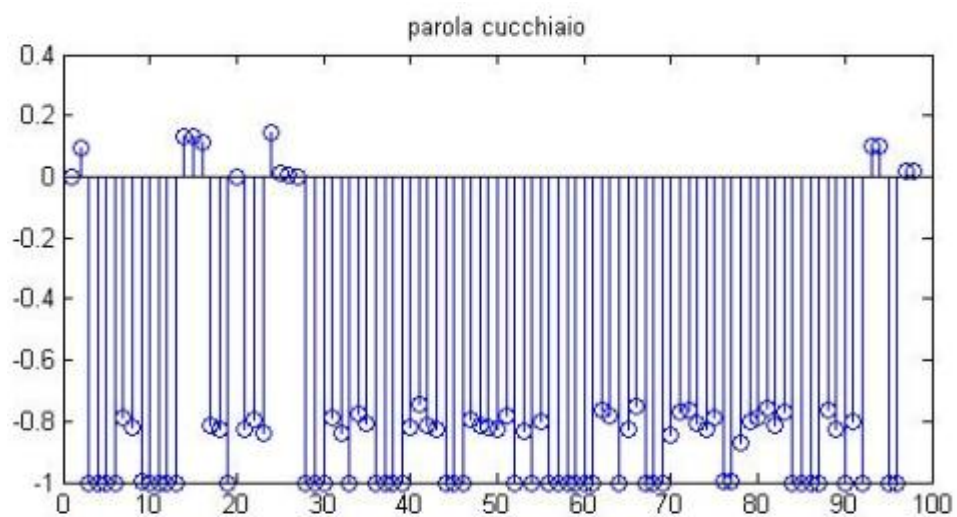
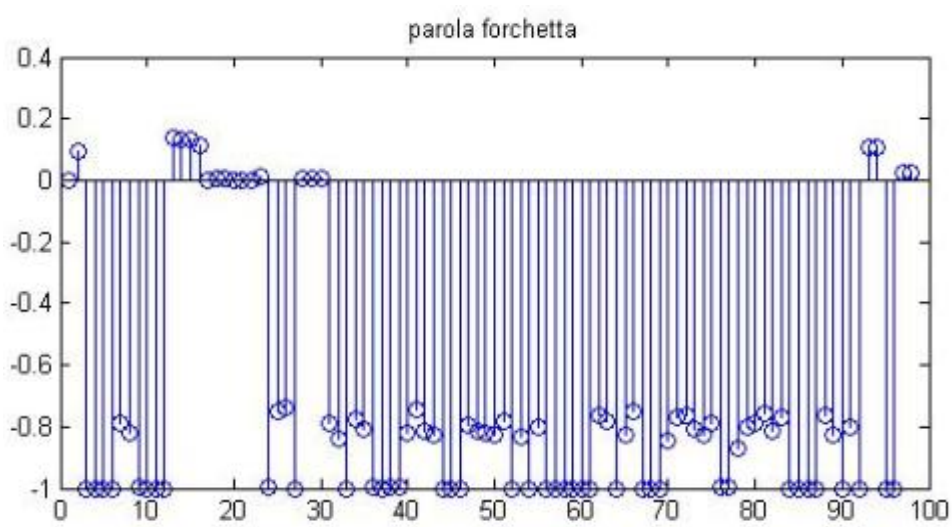
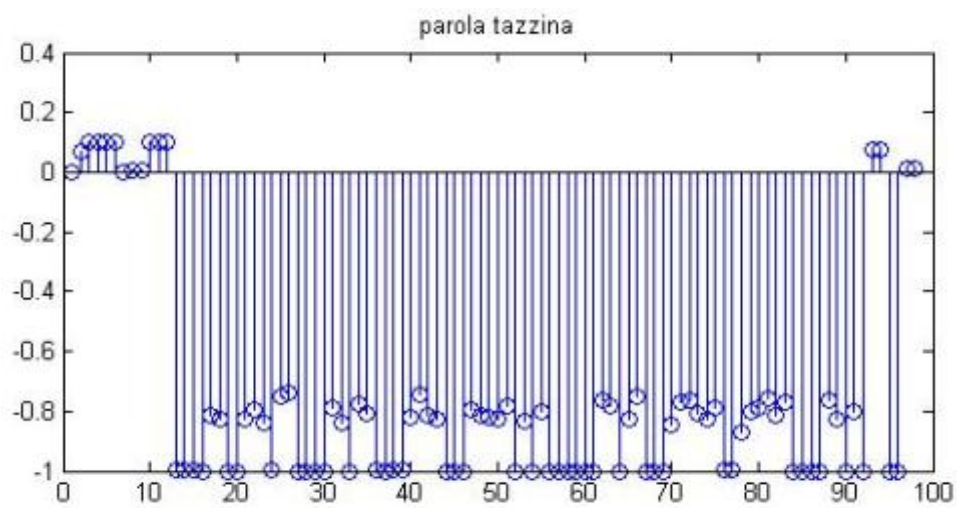


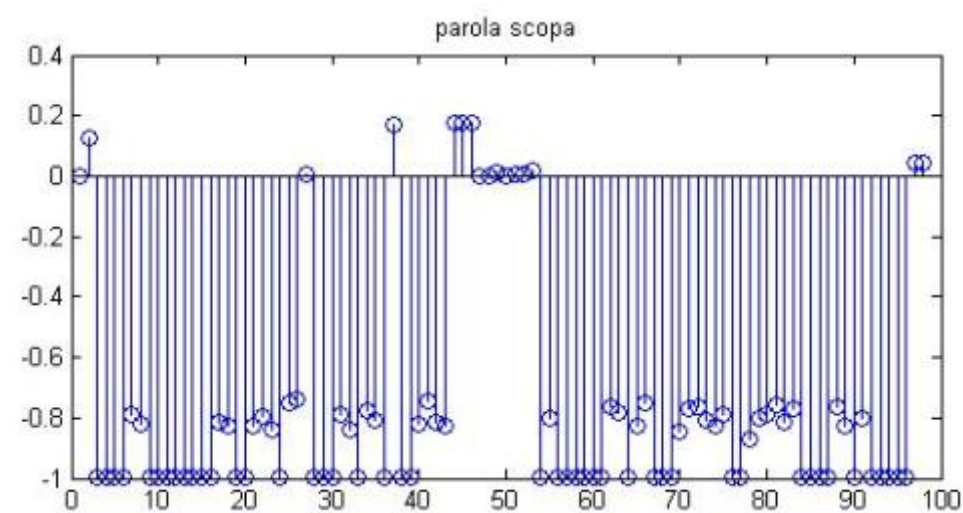
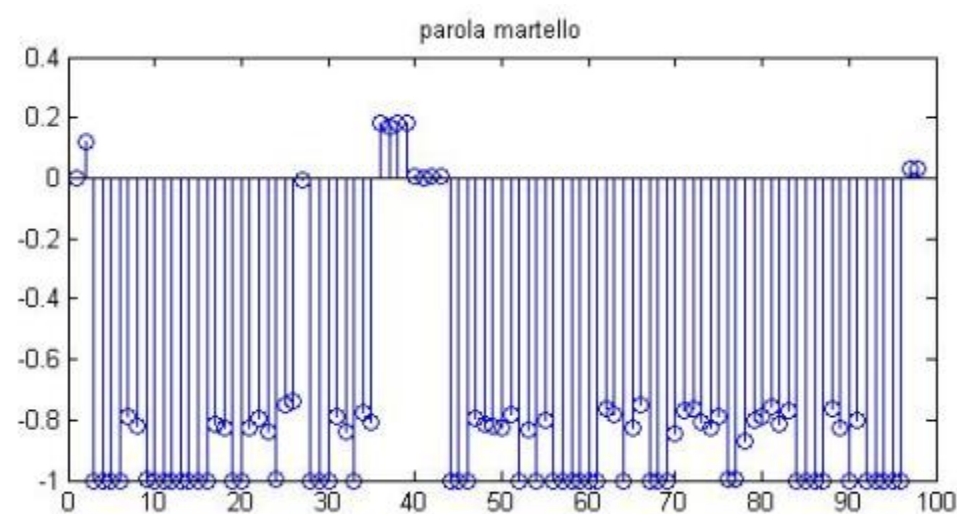
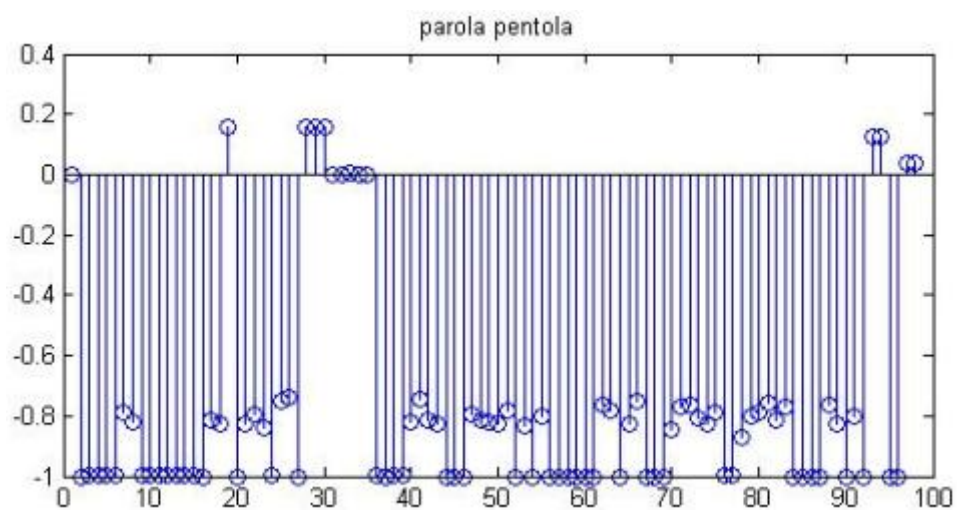
Nonostante le 97 proprietà, la parola “oggetto” riceve sinapsi solo dalle due che lo descrivono.

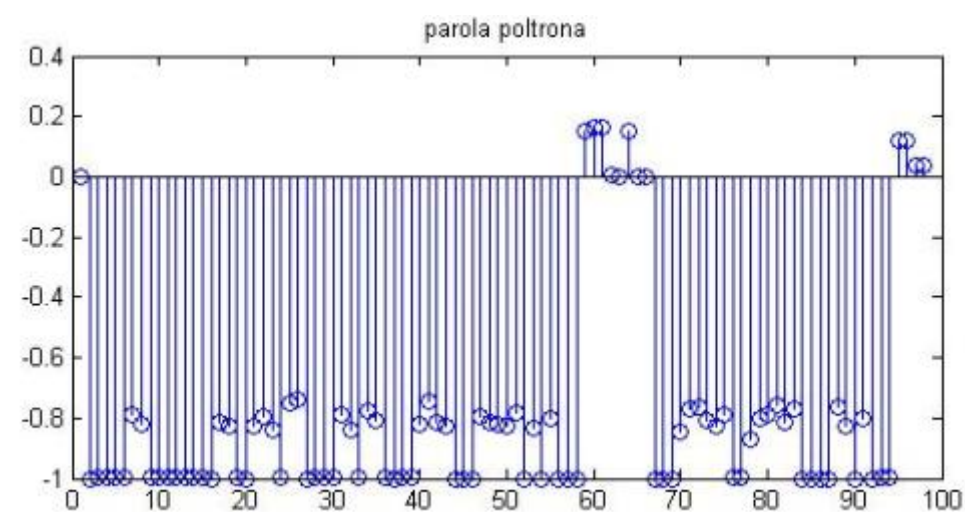
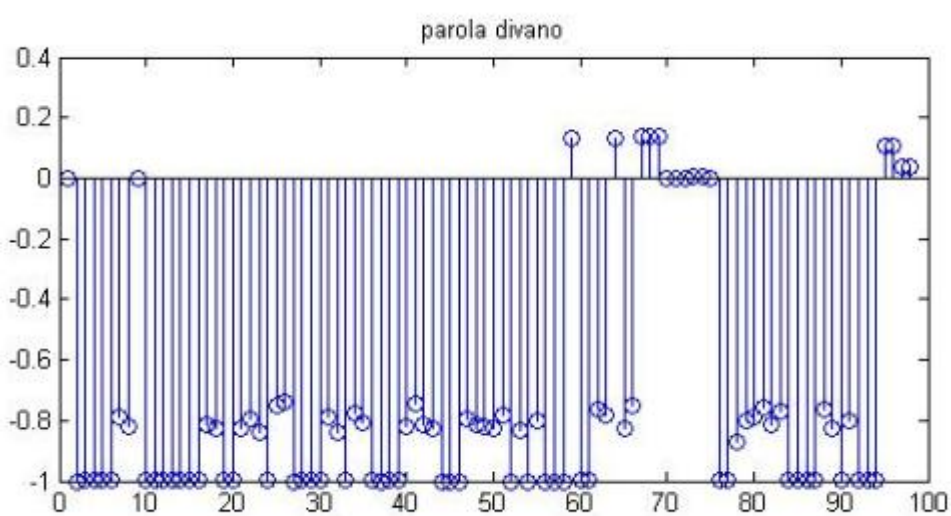
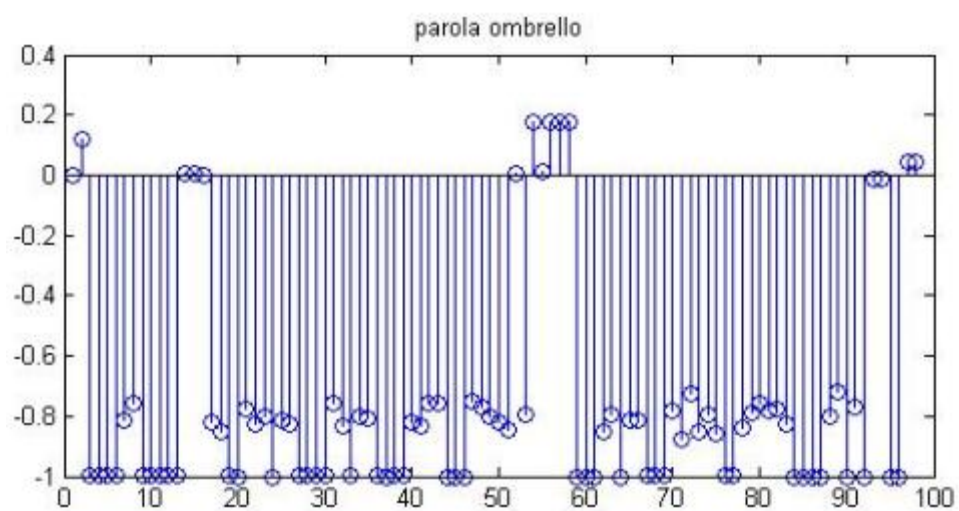


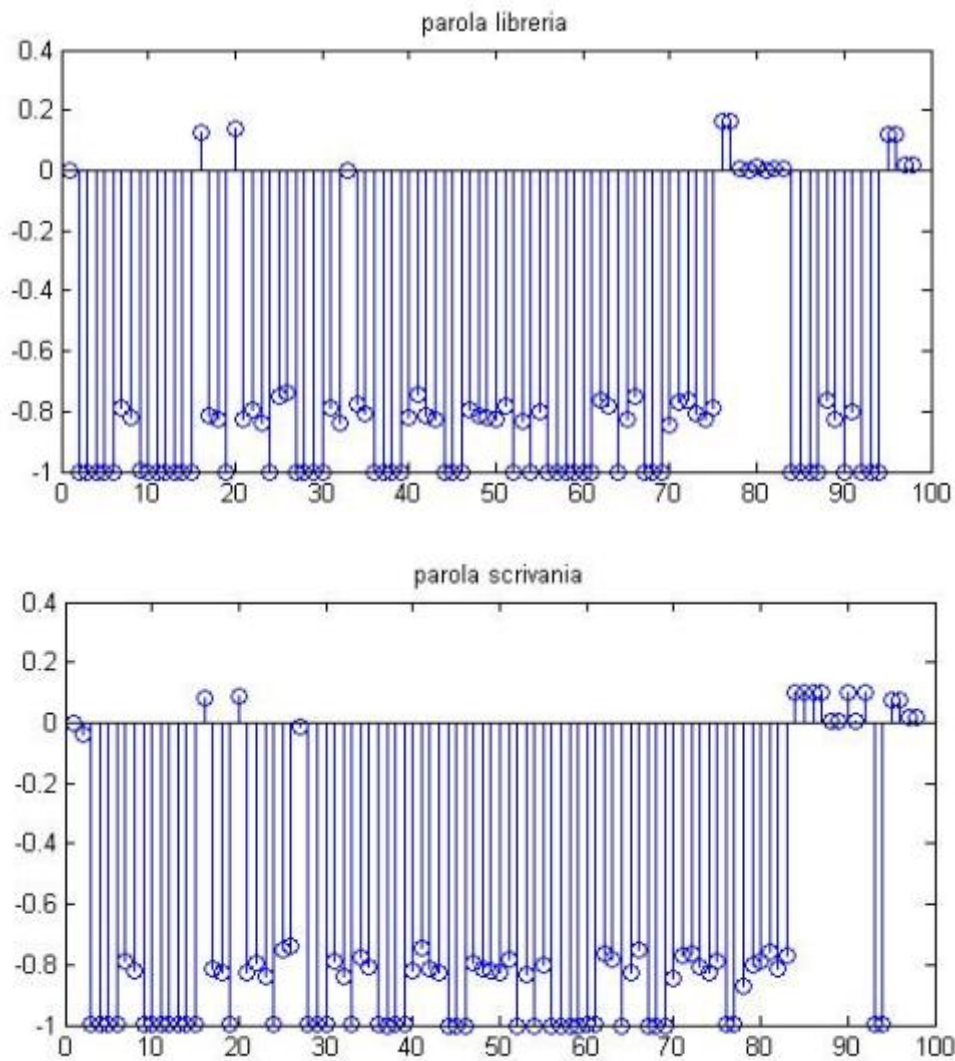
Le due categorie “utensili da cucina” e “arredo” ricevono sinapsi più deboli da “creato dall’uomo” e “non vivente”, che sono le proprietà che formano la super-categoria “oggetto”, e sinapsi forti dalle proprietà che le caratterizzano.

Vediamo ora cosa accade per le singole parole.







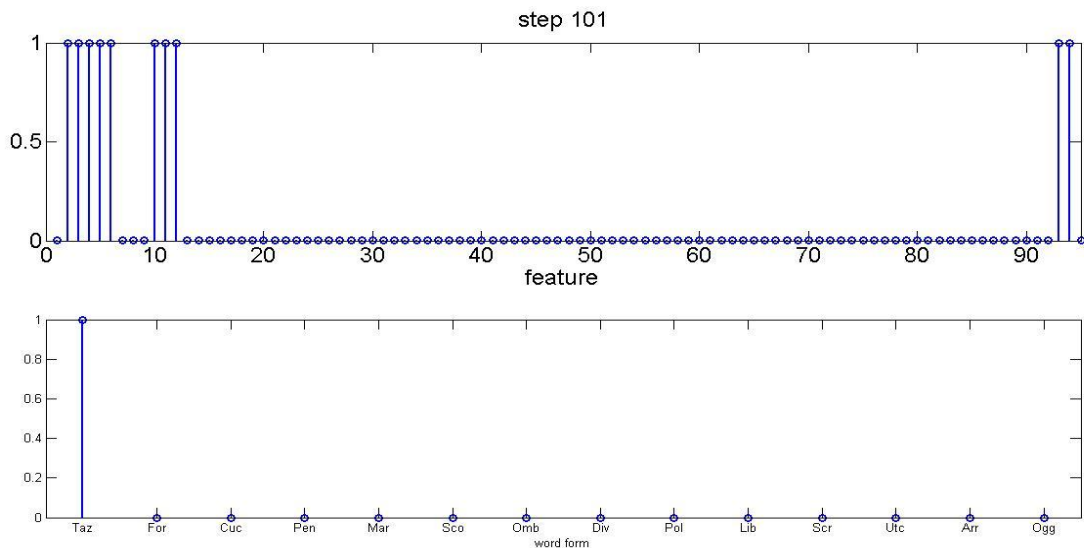


Ogni parola riceve in ingresso sinapsi dalle proprietà salienti che lo caratterizzano e dalle proprietà che formano la categoria.

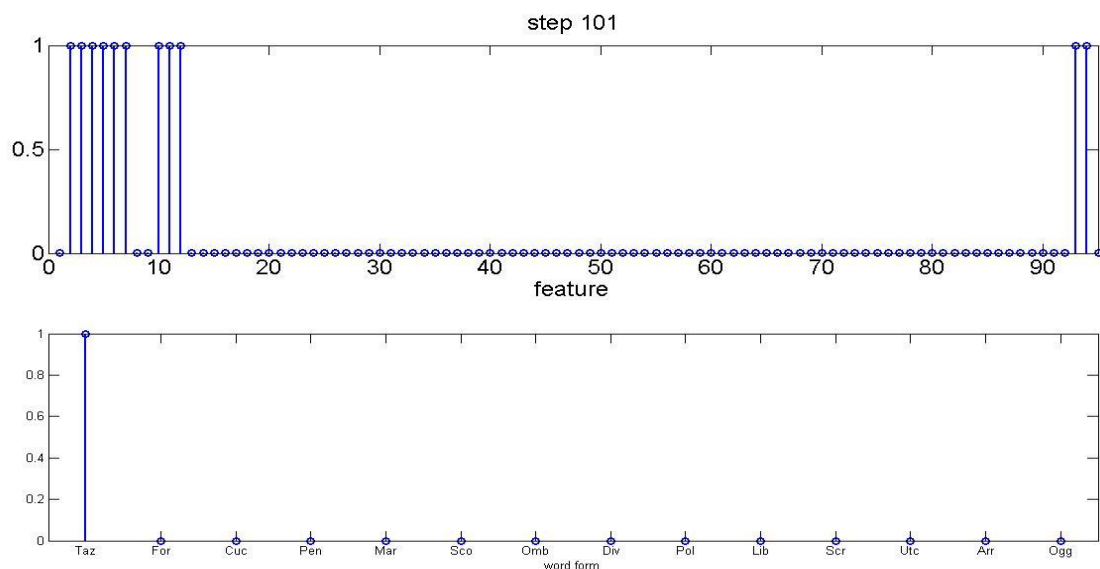
6.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti

Vediamo un esempio di simulazioni fatte.

Dando in ingresso la proprietà saliente “da caffè” (2), vengono eccitate tutte le proprietà salienti della “tazzina”, e la parola viene richiamata correttamente.



Con una proprietà marginale “usato per colazione” (7), vengono richiamate solo le altre proprietà salienti e la parola “tazzina”.



Dando in ingresso una proprietà che forma le categorie, vengono evocate le parole relative alle categorie e non il singolo oggetto.

6.2.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole

Ogni parola evoca tutte le sue proprietà salienti, le parole che rappresentano le categorie non evocano mai le proprietà distintive dei concetti individuali. Vediamo cosa accade alle 14 parole.

Word-form	Features
Oggetto	97,98
Utensili da cucina	97,98,93,94
Arredo	97,98,95,96
Tazzina	2,3,4,5,6,10,11,12,93,94,97,98
Forchetta	2,13,14,15,16,93,94,97,98
Cucchiaino	2,14,15,16,24,93,94,97,98
Pentola	19,28,29,30,93,94,97,98
Martello	2,36,37,38,39,97,98
Scopa	2,37,44,45,46,97,98
Ombrello	2,54,56,57,58,97,98
Divano	59,64,67,68,69,95,96,97,98
Poltrona	59,60,61,64, 95,96,97,98
Libreria	16,20,76,77, 95,96,97,98
Scrivania	16,20,84,85,86,87,90,92, 95,96,97,98

Tab.6.3: una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico.

Dalle simulazioni risulta che vengono richiamate alcune proprietà marginali. Ad esempio, la parola “poltrona” richiama, oltre alle sue proprietà salienti, anche la proprietà “usato per riposare”, marginale per questo oggetto ma saliente per “divano”. Forse, la vicinanza semantica tra due parole, cioè avere molte caratteristiche comuni, aumenta la forza sinaptica tra tali proprietà comuni, che tendono ad evocare le proprietà marginale nell’area semantica trattandola come saliente. Altro errore è legato alla parola “tazzina”, che ha solo 5 proprietà salienti, ma dalla tabella risulta che durante la simulazione ha richiamato 8 proprietà distintive. È comunque un errore comprensibile, in fondo la proprietà diventa saliente in analogia con l’uso di oggetti simili.

Per le parole rimanenti, sono evocate solo le proprietà salienti che le caratterizzano.

6.3 Tassonomia secondo modello_objetti

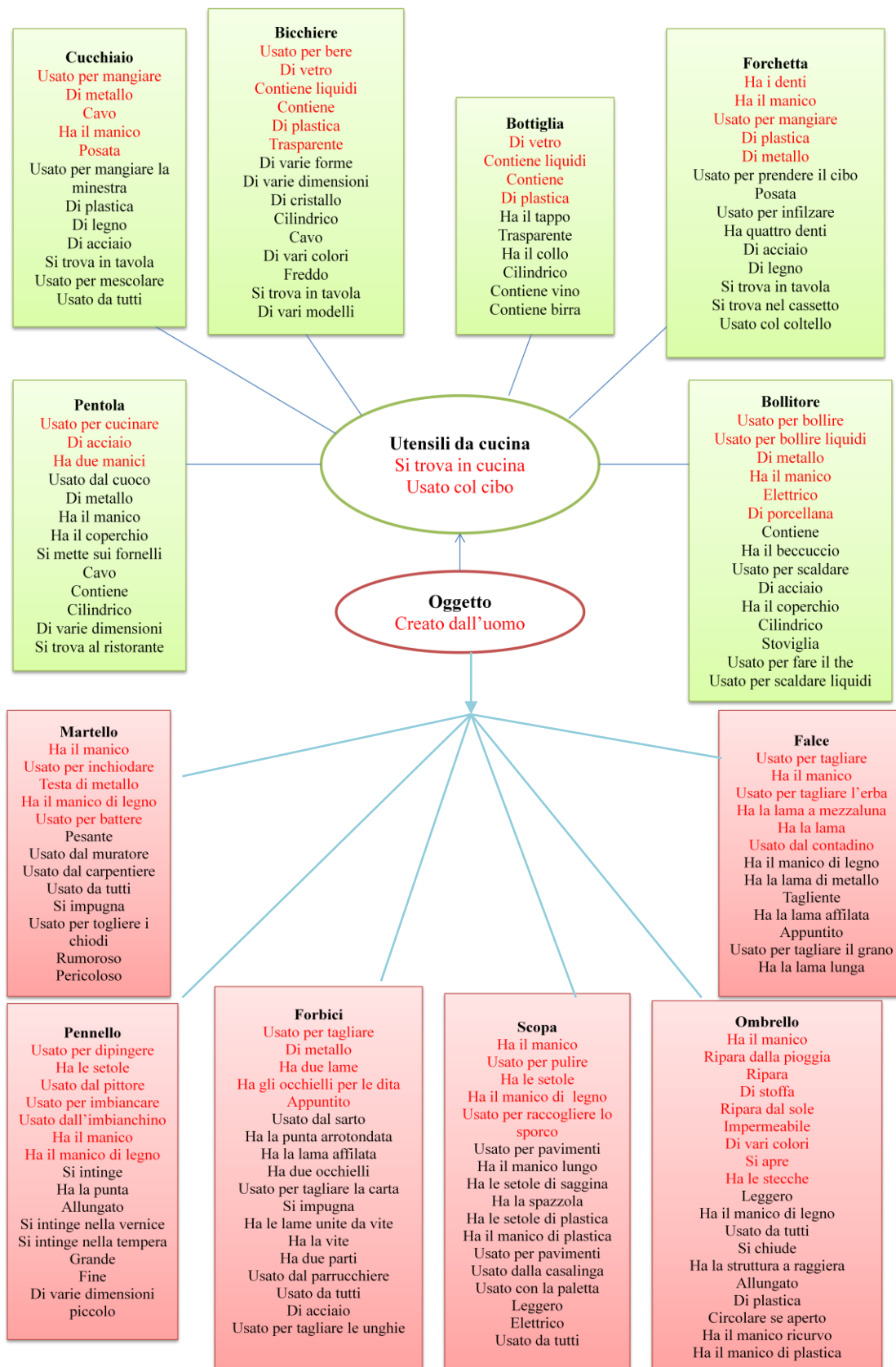


Fig.6.2: tassonomia secondo modello_objetti. In rosso le proprietà salienti.

Questo secondo modello usa una tassonomia di 12 oggetti, con 126 proprietà. Questa volta le proprietà all'interno del database sono state prese tutte. Uno dei nostri obiettivi è rendere il modello sempre più fisiologico, e utilizzare un numero di caratteristiche diverso per descrivere i concetti è una parte fondamentale nella memoria semantica. L'unica distinzione è stata fatta sulla frequenza di occorrenza: considerando la mediana calcolata sulla dominance, abbiamo considerato le proprietà con dominance maggiore della mediana salienti, quelle con dominance minore o uguale alla mediana marginali.

Gli oggetti appartengono tutti alla super-categoria "oggetti", alcuni di loro rientrano anche nella categoria "utensili da cucina". Questo è il modello in cui, più degli altri, la scelta dei concetti da includere è stato fatto sulla base della vicinanza semantica. È una scelta che avrebbe potuto mettere in difficoltà il modello, alcuni oggetti, infatti, presentano molte caratteristiche comuni. Ma con l'utilizzo della soglia post-sinaptica variabile il modello gestisce questa difficoltà senza problemi, lo vedremo a breve nei risultati ottenuti.

Le frequenze di occorrenza sono sempre 65% per le proprietà salienti e 45% per le marginali (in fig. 6.2, proprietà salienti in rosso, marginali in nero). In più di un caso, una proprietà ha frequenze diverse a seconda del concetto a cui è associata, ad esempio la proprietà "di plastica" è saliente per "forchetta" ma è marginale per "cucchiaio" e "ombrello".

Vediamo l'elenco di caratteristiche utilizzate e la posizione che occupano all'interno della rete.

```
proprietà
divarimodelli=2;
sitrovaintavola=3;
freddo=4;
divaricolori=5;
cavo=6;
cilindrico=7;
dicristallo=8;
```

```
divariedimensioni=9;
divarieforme=10;
sitrovaalbar=11;
trasparente=12;
diplastica=13;
contiene=14;
contieneliquidi=15;
divetro=16;
```

usatoperbere=17;	halaspazzola=73;
contienebirra=18;	halesetoledisaggina =74;
contienevino=19;	hailmanicolungo=75;
hailcollo=20;	usatoperraccogliereilosporco =76;
hailtappo=21;	halesetole=77;
usatodatutti=22;	usatoperpulire=78;
usatopermescolare=23;	halalamalunga=79;
diacciaio=24;	usatopertagliareilgrano=80;
dilegno=25;	appuntito=81;
usatopermangiarelaminestra=26;	halalamaaaffilata=82;
posata=27;	tagliente=83;
hailmanico=28;	halalamadimetallo=84;
dimetallo=29;	usatodalcontadino=85;
usatopermangiare=30;	halalama=86;
usatocoltellopertagliare=31;	halalamaamezzaluna=87;
sitrovanelcassetto=32;	usatopertagliarelerba=88;
hatredenti=33;	usatopertagliare=89;
usatoperinfilzare=34;	usatopertagliareleunghie=90;
haquattro denti=35;	usatodalparrucchiere=91;
usatoperprendereilcibo=36;	hadueparti=92;
haidenti=37;	halavite=93;
sitrovaalristorante=38;	halelameunitedavite=94;
rotondo=39;	usatopertagliarelacarta=95;
simettesuifornelli=40;	hadueocchielli=96;
usatodalcuoco=41;	halapuntaarrotondata=97;
hailcoperchio=42;	usatodalsarto=98;
haimanici=43;	hagliocchielliperledita=99;
haduemanici=44;	halelame=100;
usatopercucinare=45;	haduelame=101;
usatoperscaldareliquidi=46;	piccolo=102;
usatoperfareilthe=47;	fine=103;
stoviglia=48;	grande=104;
usatoperscaldare=49;	siintingenellatempera =105;
hailbeccuccio=50;	siintingenellavernice=106;
diporcellana=51;	allungato=107;
elettrico=52;	halapunta=108;
usatoperbollireliquidi=53;	siintinge=109;
usatoperbollire=54;	usatodallimbianchino=110;
pericoloso=55;	usatoperimbiancare=111;
rumoroso=56;	usatodalpittore=112;
usatopertoglierechiodi=57;	usatoperdipingere=113;
siimpugna=58;	hailmanicoricurvo=114;
usatodalcarpentiere=59;	circolareseaperto=115;
pesante=60;	halastrutturaaraggiera=116;
usatodalmuratore=61;	sichiude=117;
halatesta=62;	halestecche=118;
usatoperbattere=63;	siapre=119;
hailmanicodilegno=64;	impermeabile=120;
halatestadimetallo=65;	riparadalsole=121;
usatoperinchiodare=66;	distoffa=122;
leggero=67;	ripara=123;
usatoconlapaletta=68;	riparadallapioggia=124;
usatodallacasalinga=69;	sitrovaincucina=125;
usatoperpavimenti=70;	usatocolcibo=126;
hailmanicodiplastica=71;	creatodalluomo=127;
halesetolediplastica=72;	

OGGETTI

bicchiere=1;
bottiglia=2;
cucchiaino=3;
forchetta=4;
pentola=5;
bollitore=6;
martello=7;
scopa=8;

falce=9;
forbici=10;
pennello=11;
ombrello=12;

CATEGORIE

utensilidacucina=13;
oggetto=14;

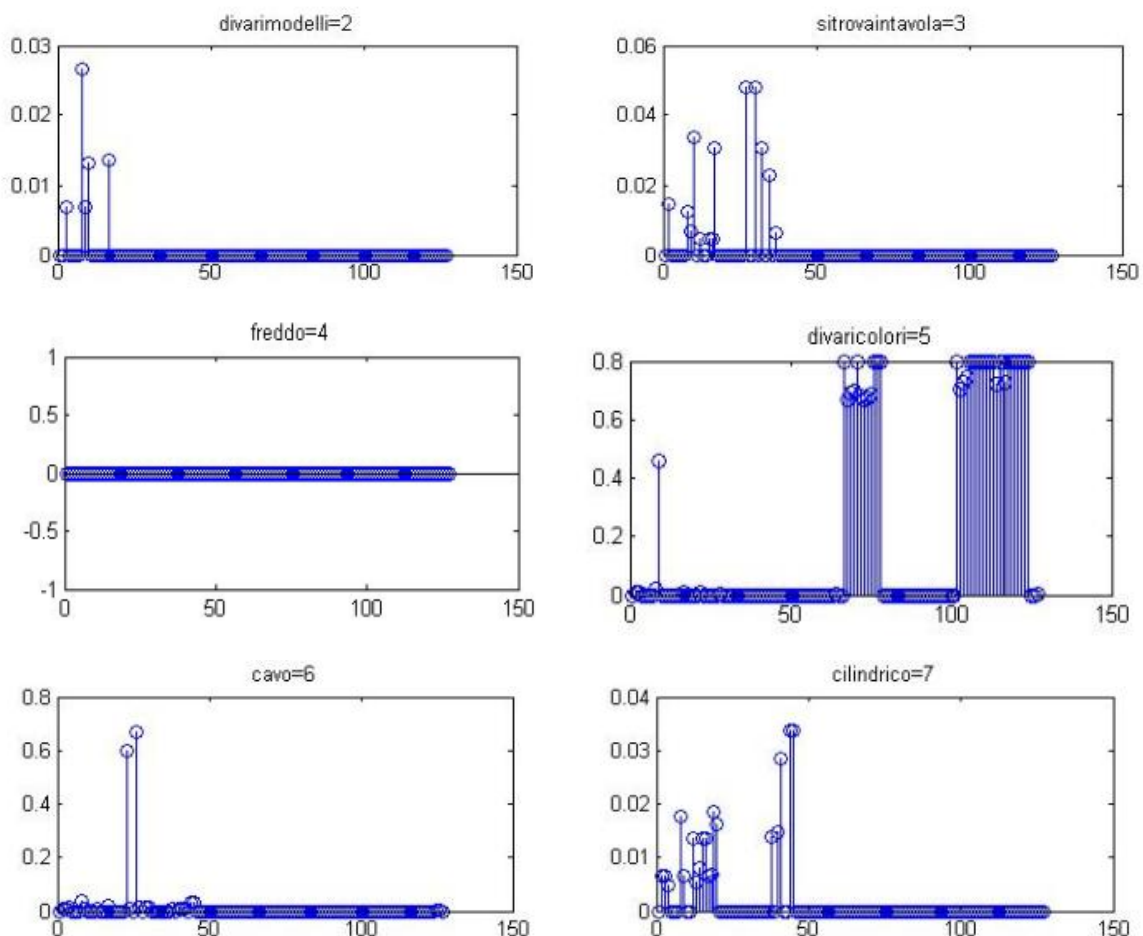
I parametri sono gli stessi utilizzati nel primo modello_oggetti (vedere paragrafo 6.1.1 *Parametri*).

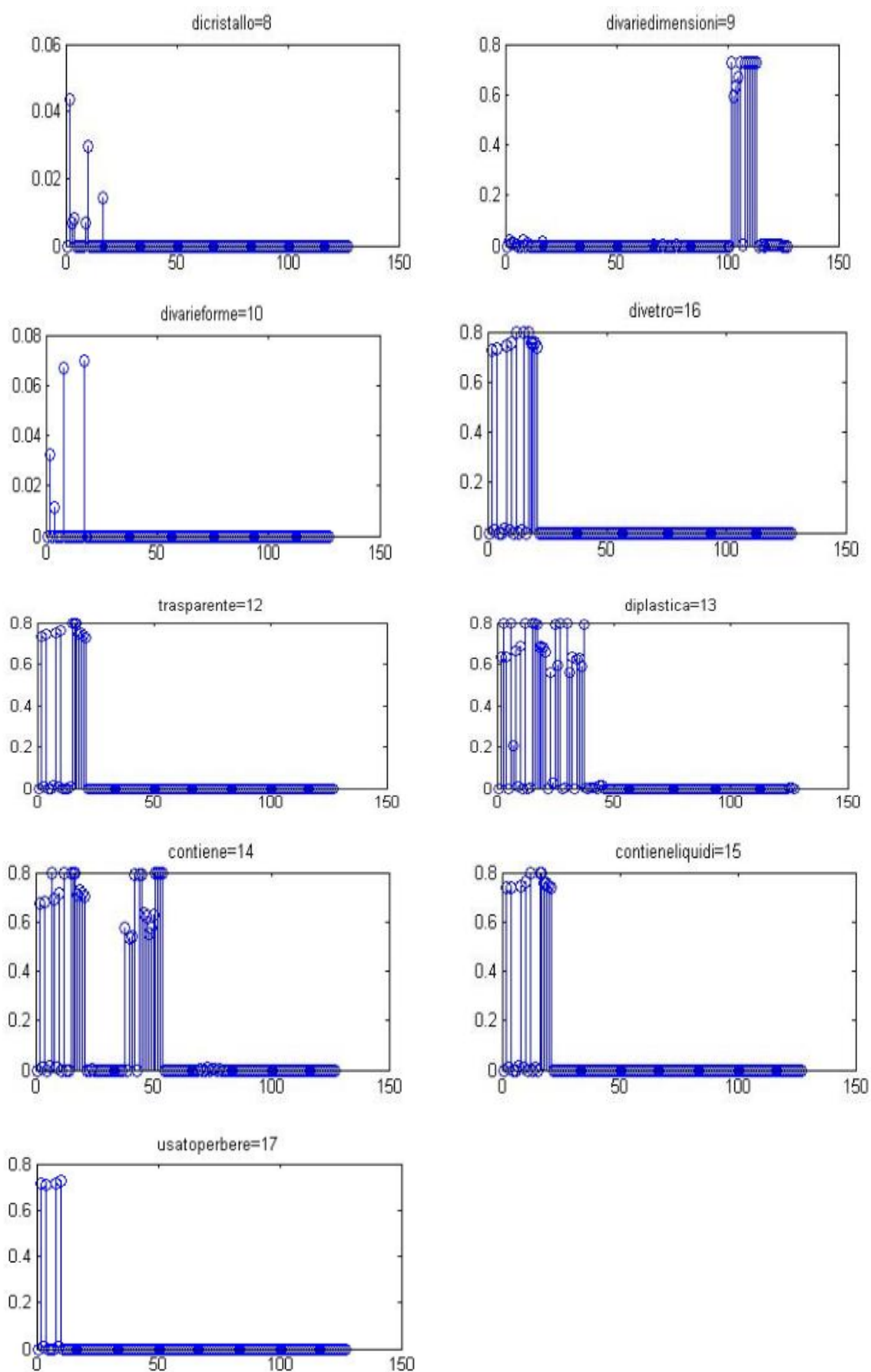
6.4 Risultati

6.4.1 Addestramento semantico – fase 1

Vediamo alcuni grafici, ottenuti dopo la prima fase di addestramento semantico.

“Bicchiere”

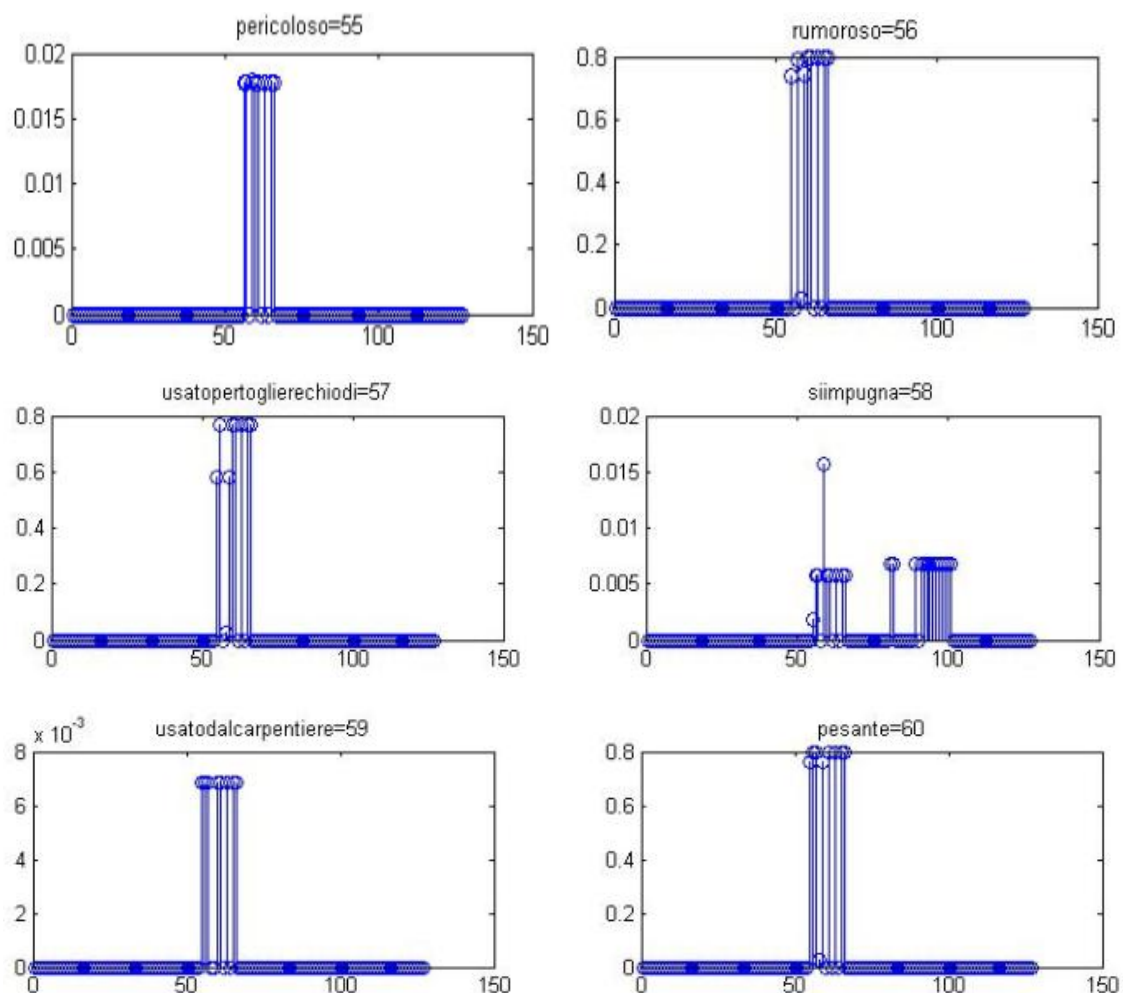


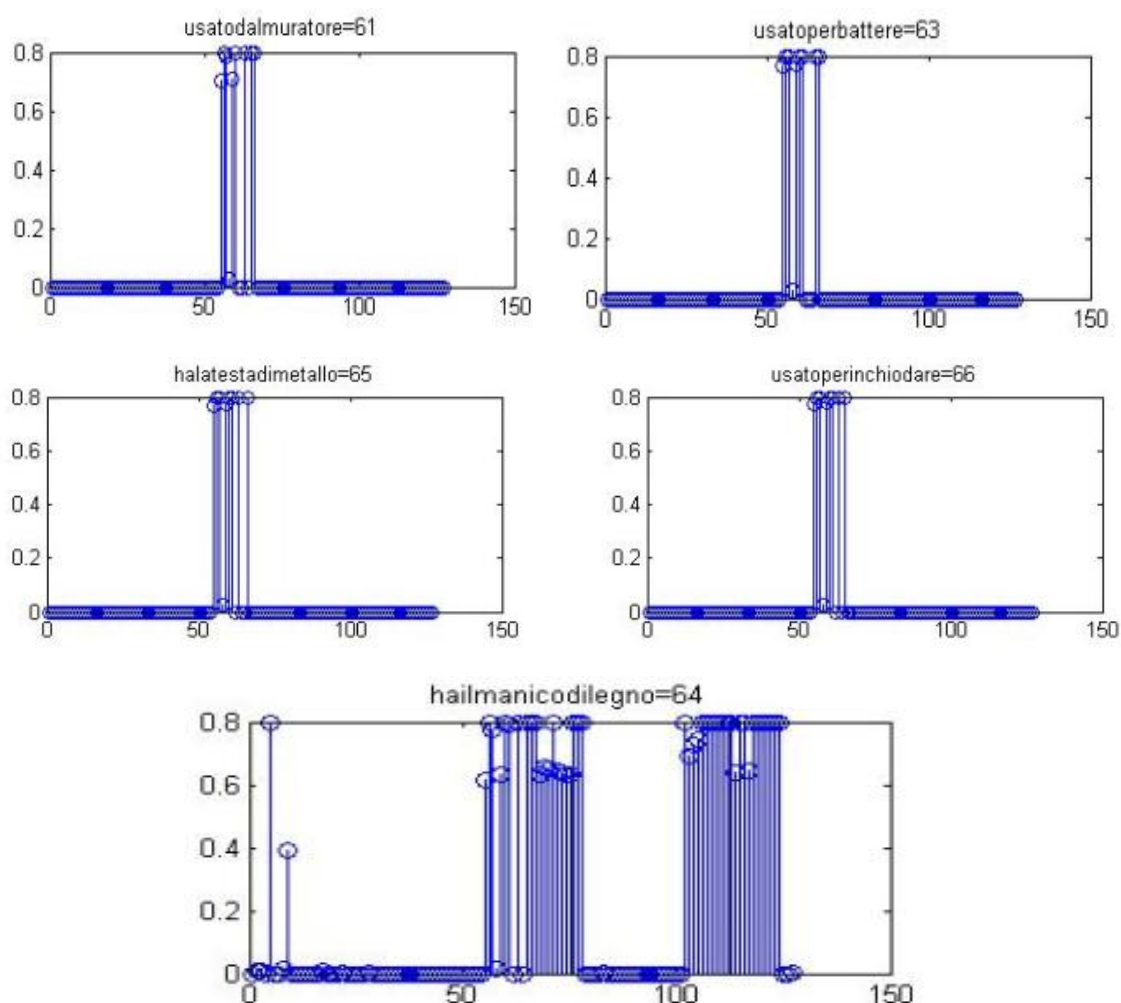


Le proprietà marginali ricevono sinapsi deboli dalle altre proprietà del “bicchiere”, quelle salienti ricevono sinapsi forti. Una proprietà come “di vari colori”, che per il bicchiere è marginale, è invece saliente per l’ombrello e, di conseguenza, riceve sinapsi forti divenendo saliente anche per il bicchiere”. Probabilmente è la proprietà comune “è di plastica” che rende saliente “di vari colori” anche per il bicchiere.

Anche per la proprietà “di plastica” possiamo vedere che riceve forti sinapsi dalle proprietà di “bicchiere”, “bottiglia”, “cucchiaino”, “forchetta”.

“Martello”



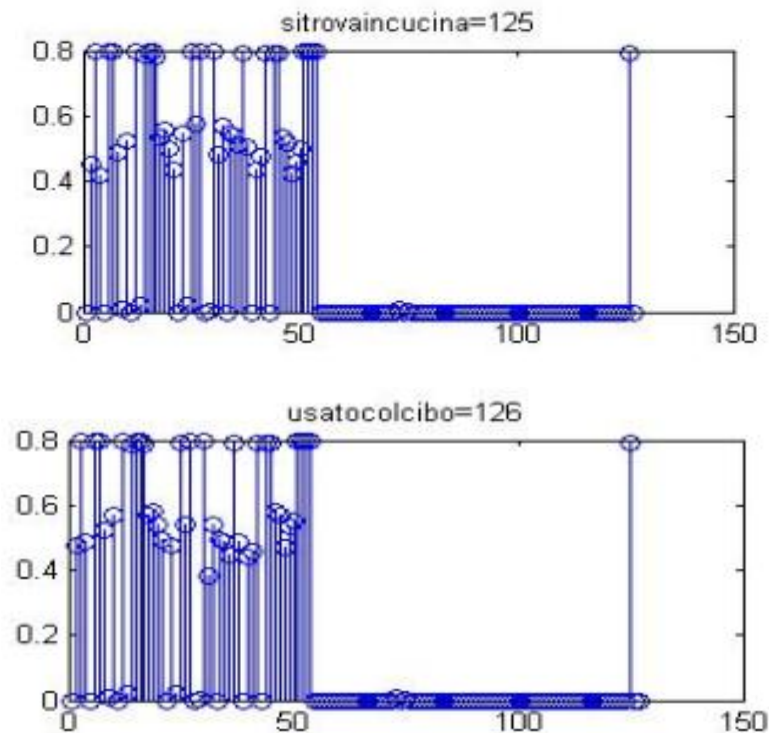


Il “martello” ha molte proprietà distintive che quindi ricevono sinapsi solo dalle altre proprietà dell’oggetto. La proprietà “si impugna” riceve sinapsi deboli da “martello” e “forbici”, per entrambi gli oggetti è marginale.

Infine, “ha il manico di legno”, proprietà condivisa da molti oggetti (martello, ombrello, falce, pennello), riceve sinapsi forti dalle proprietà di quelli oggetti per cui è saliente.

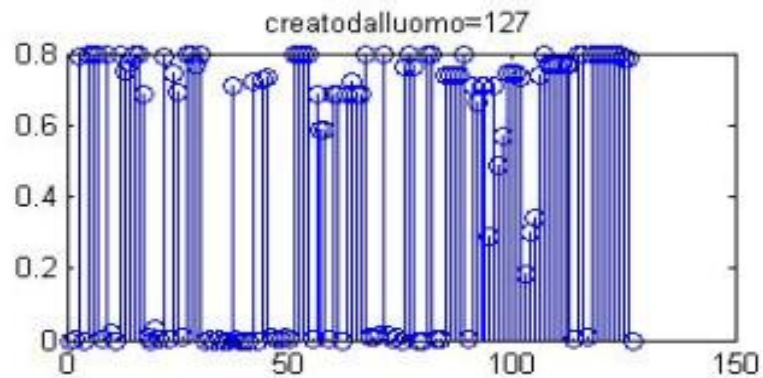
Vediamo i risultati ottenuti per le proprietà che sono associate alle categorie, “oggetti” e “utensili da cucina”.

“Utensili da cucina”



Le due proprietà, oltre che inviarsi sinapsi reciprocamente, ricevono sinapsi dalle proprietà salienti degli oggetti che rientrano nella categoria.

“Oggetti”



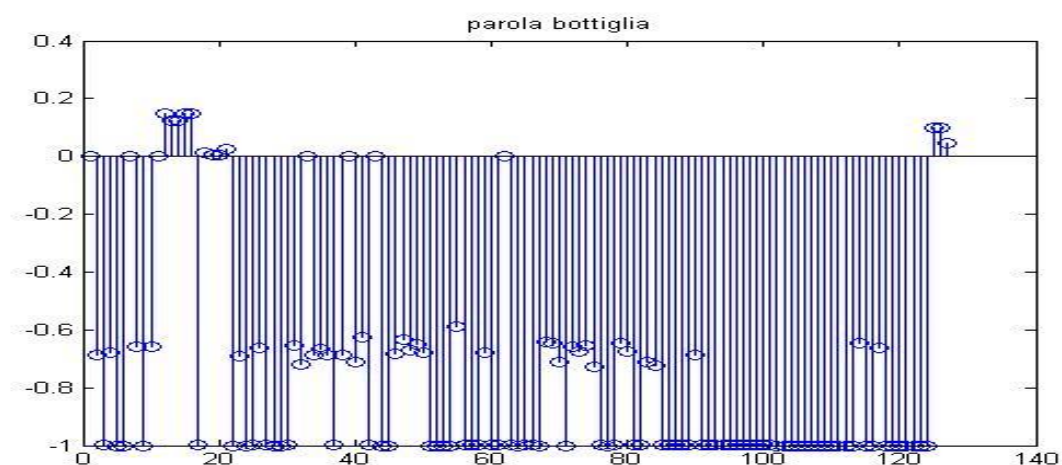
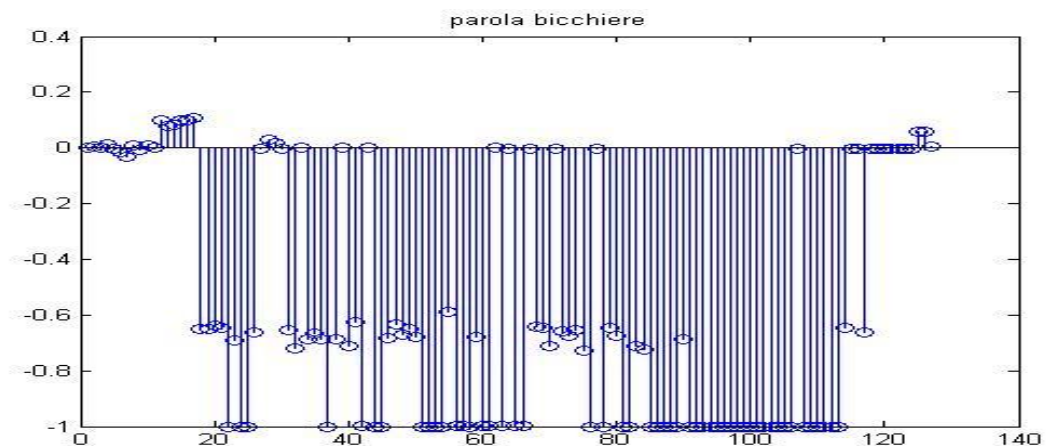
All'interno della categoria “oggetti” rientrano tutti i 12 concetti. La proprietà associata a questa categoria riceve sinapsi da tutte le proprietà salienti.

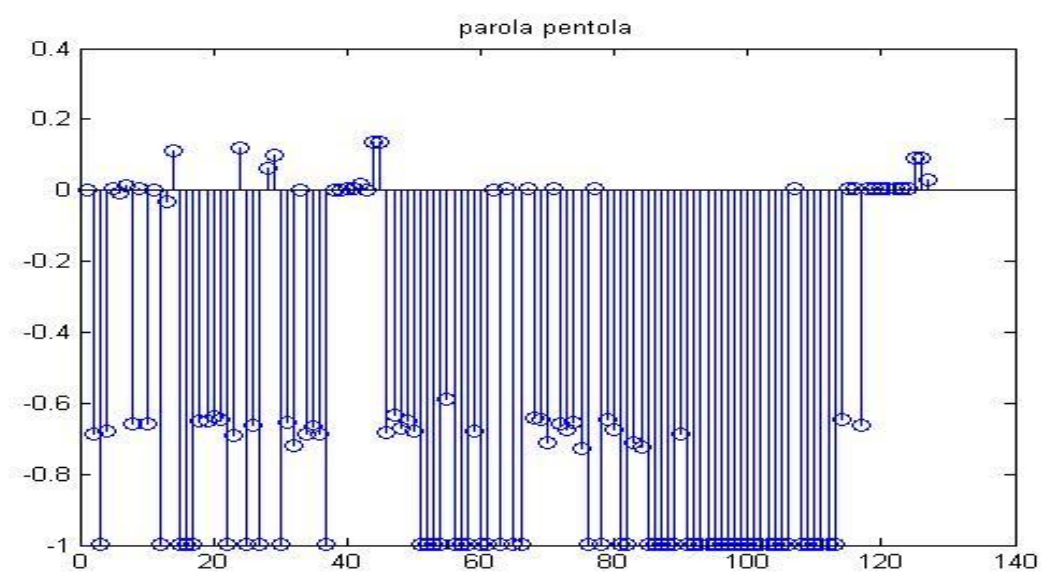
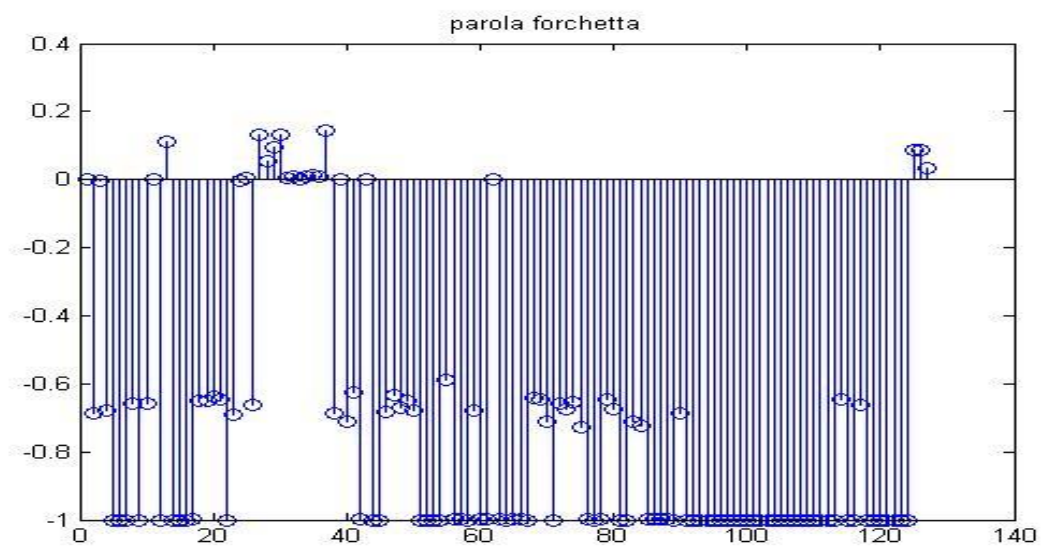
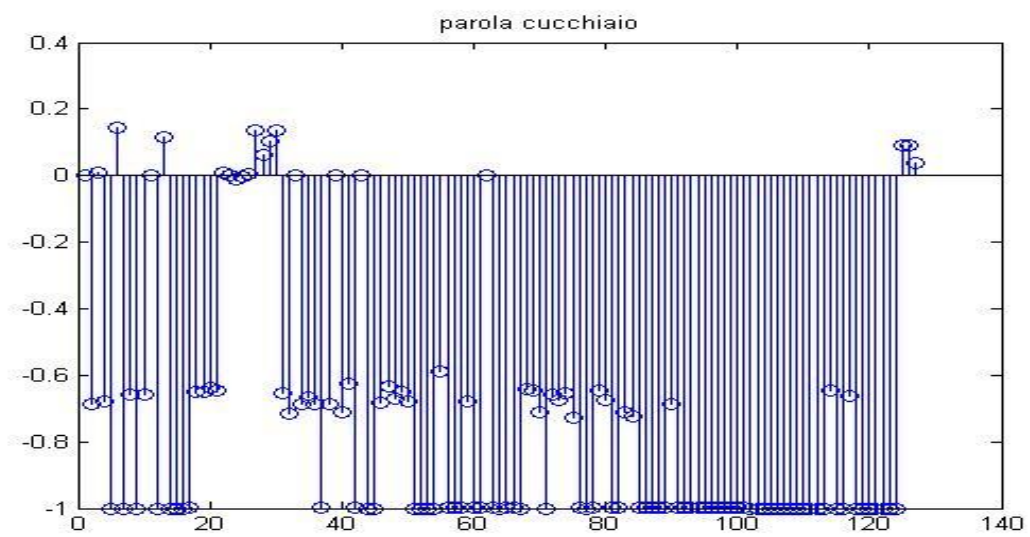
Dai risultati ottenuti su tutti i 12 oggetti, possiamo concludere dicendo che la rete si è comportata in modo corretto e non si sono verificati errori come nei modelli precedenti, nonostante il livello di difficoltà crescente.

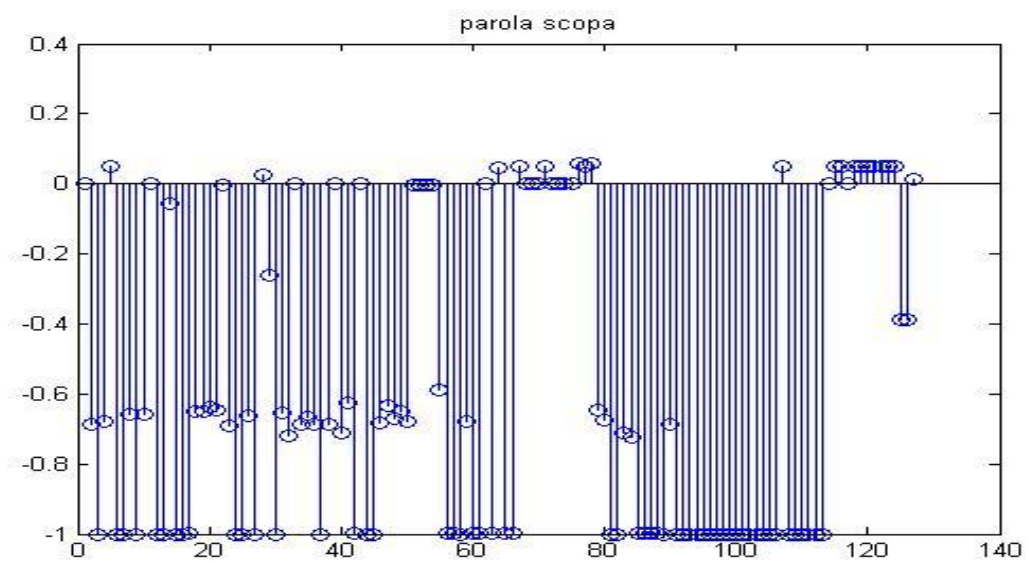
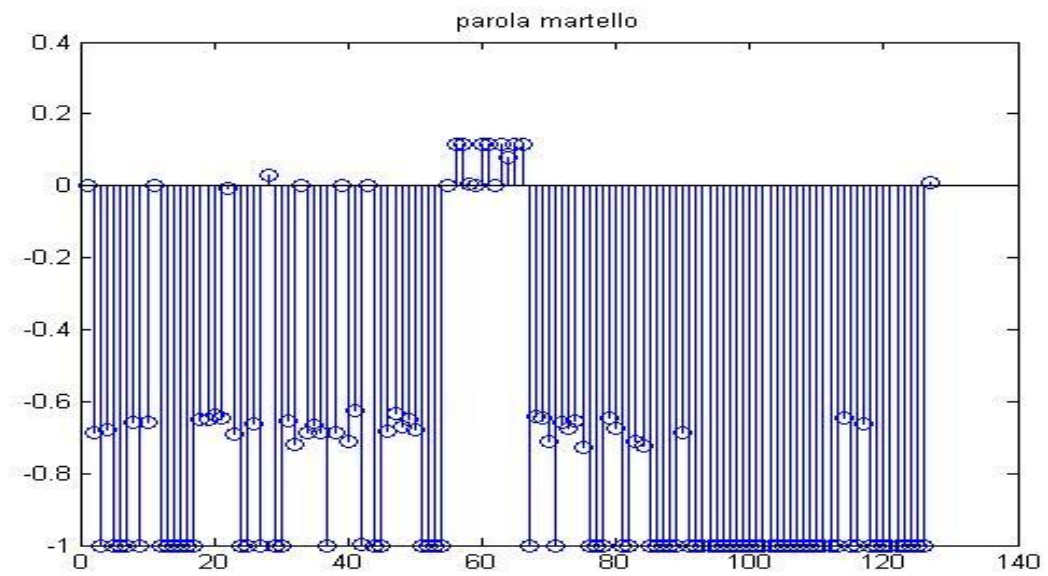
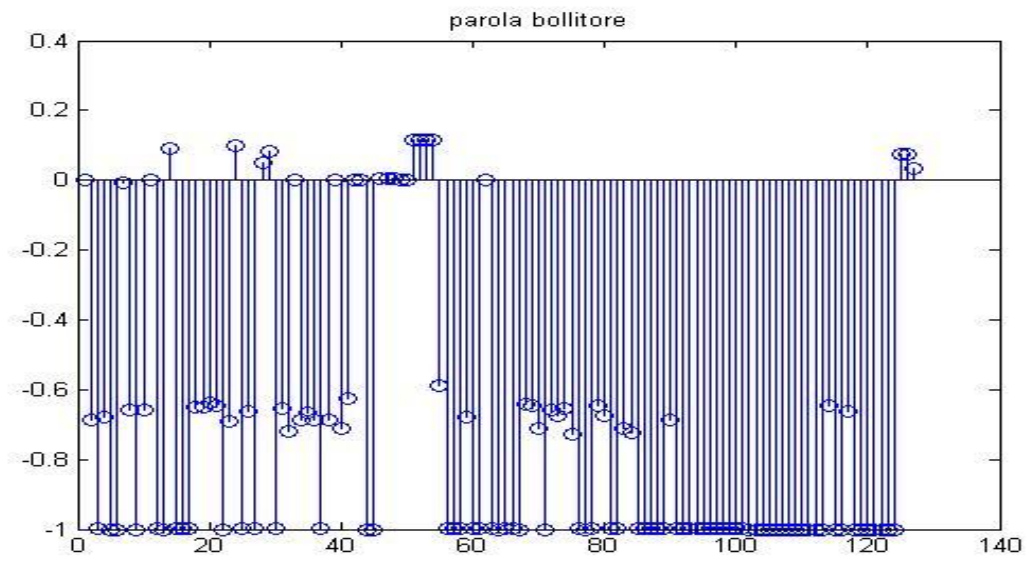
6.4.2 Addestramento lessicale – fase 2

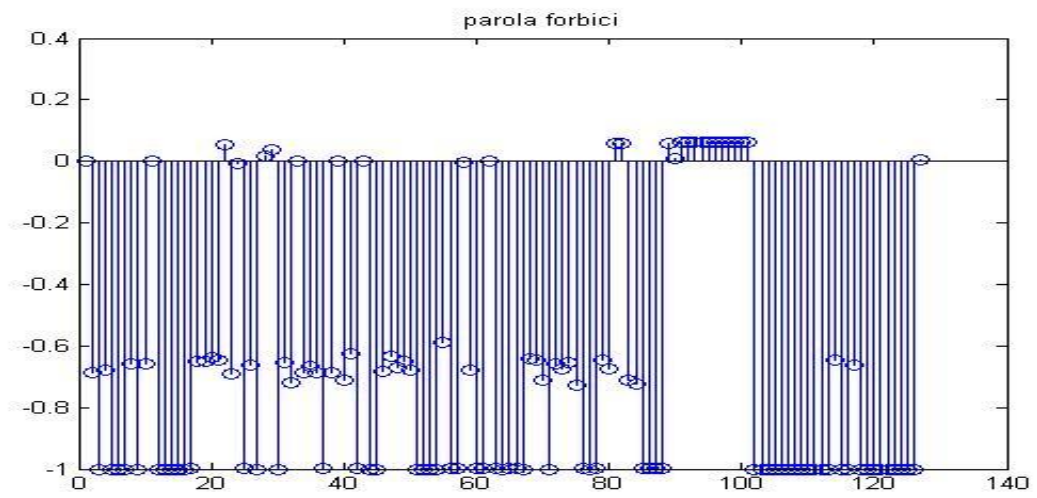
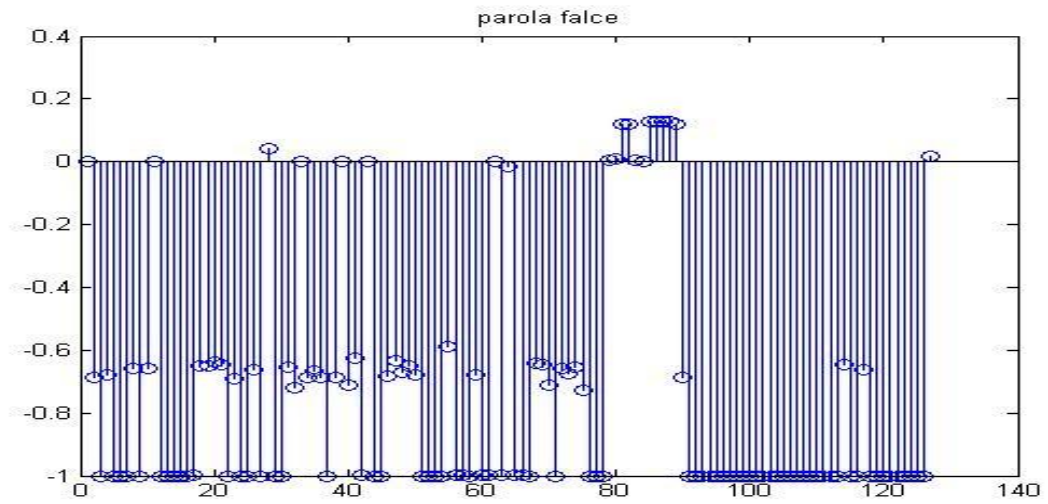
Vediamo le sinapsi che entrano in ogni parola.

I risultati sono abbastanza positivi, le sinapsi che entrano nelle parole sono quelle delle proprietà salienti che le caratterizzano. Ci sono casi in cui vengono richiamate anche proprietà marginali: vediamo nel dettaglio un esempio. La parola “bicchiere” riceve sinapsi dalle proprietà salienti (trasparente=12, di plastica=13, contiene=14, contiene liquidi=15, di vetro=16, usato per bere=17) e dalle proprietà associate alla categoria “utensili da cucina”. Tutte le parole che rientrano nella categoria “utensili da cucina” (“bicchiere”, “bottiglia”, “cucchiaino”, “forchetta”, “pentola”, “bollitore”) ricevono correttamente sinapsi dalle proprietà associate alla categoria (si trova in cucina=125 e usato col cibo=126).

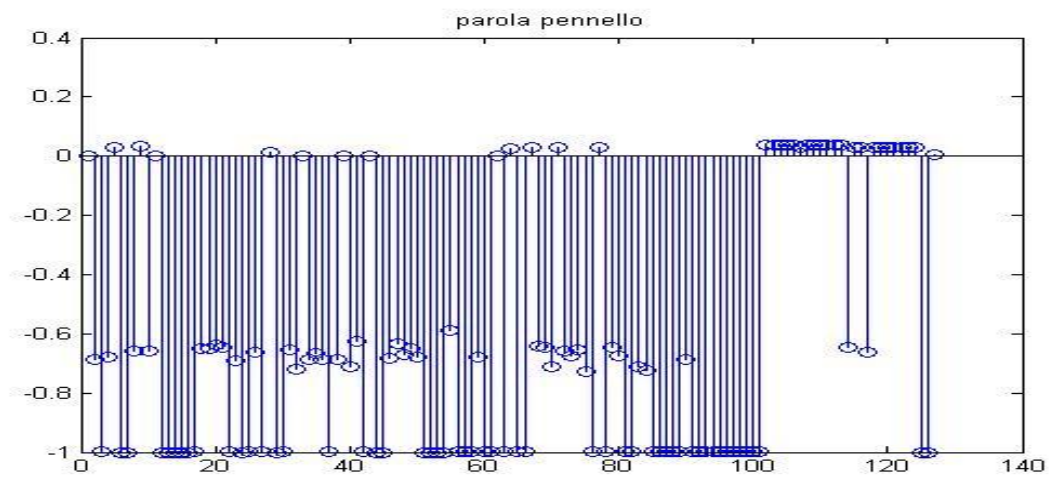


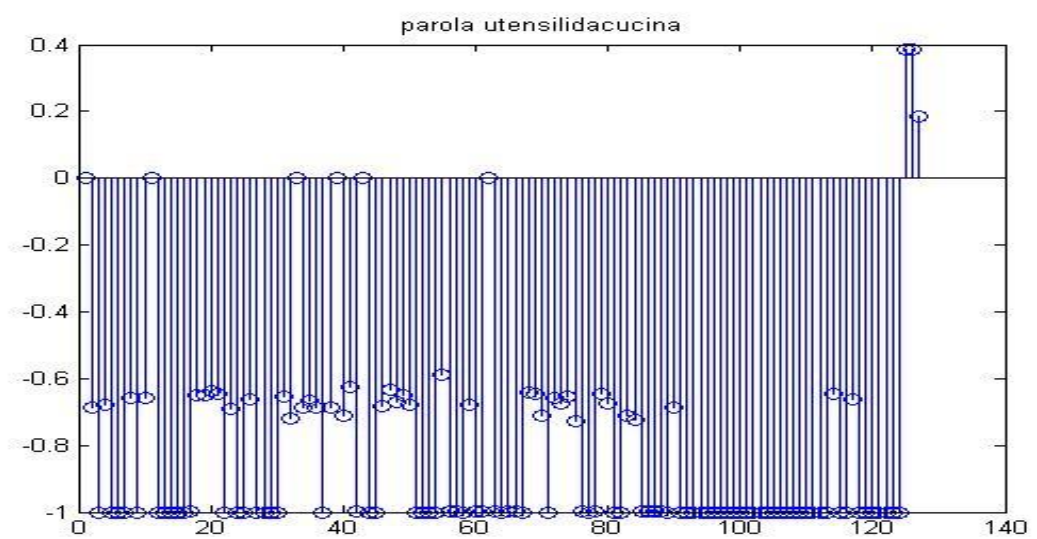
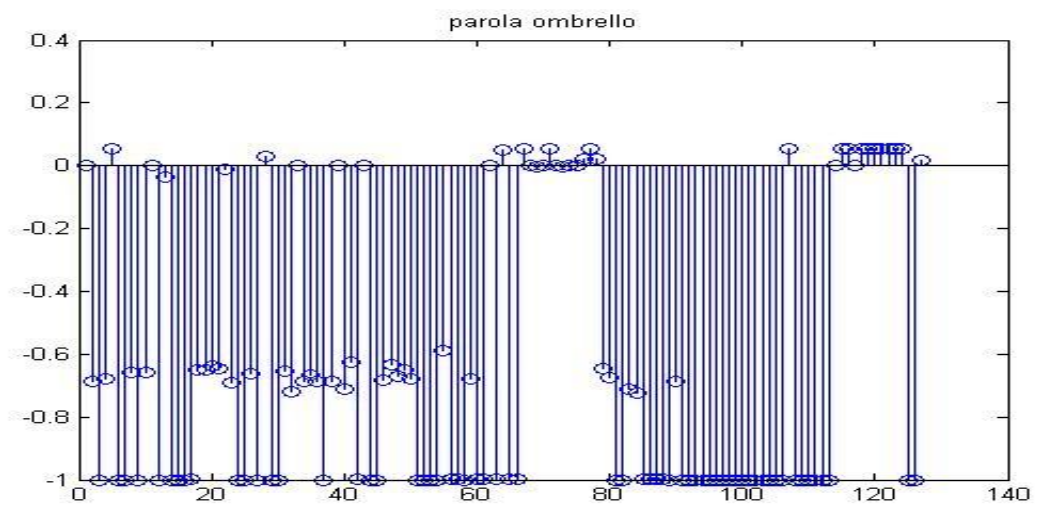




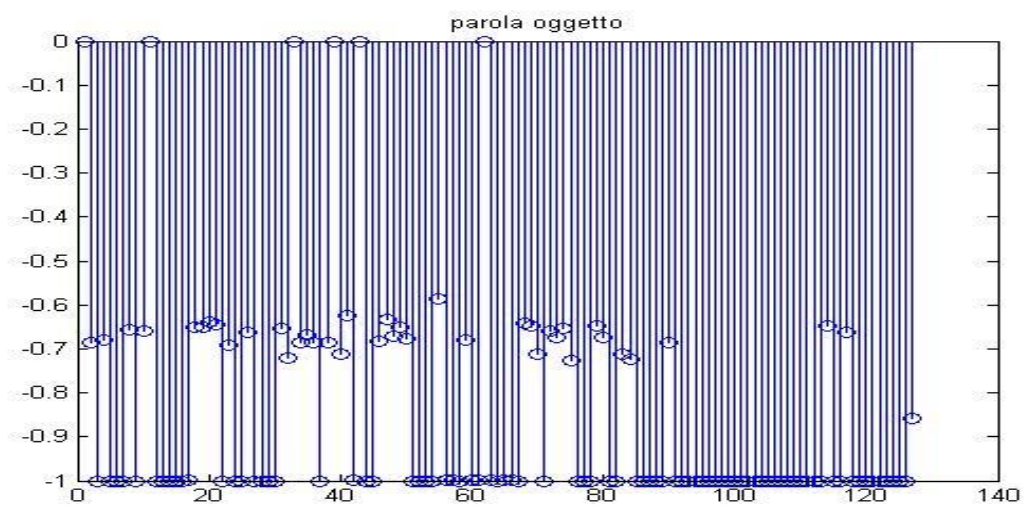


La parola “pennello” non riceve sinapsi solo dalle proprietà ad essa associate, ma anche da quelle della parola “ombrello”.



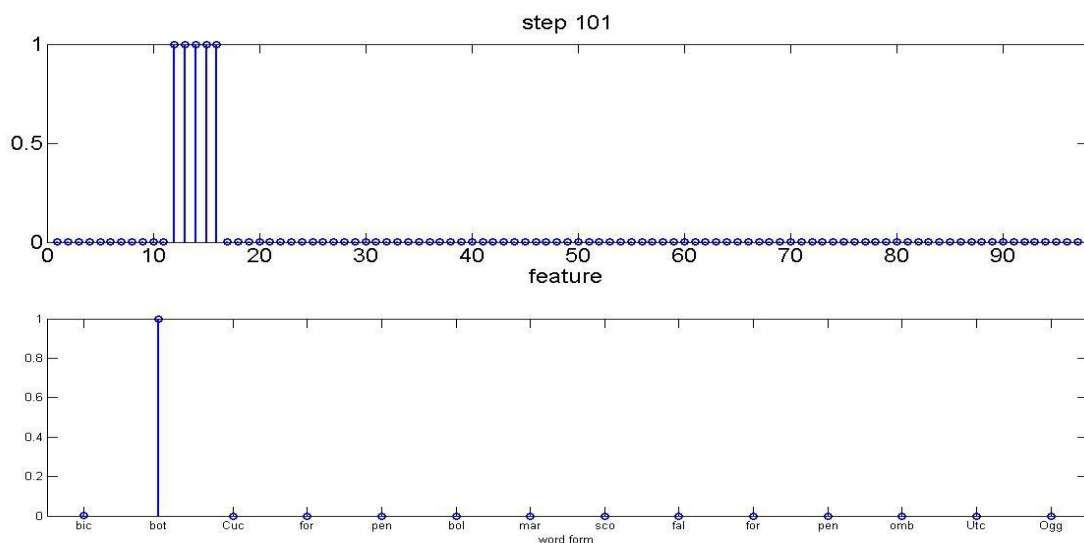


Solo la parola “oggetto” non riceve sinapsi in ingresso, probabilmente dovuto al fatto di avere una sola caratteristica associata.



6.4.3 Simulazioni

Le simulazioni di compiti di denominazione degli oggetti hanno fatto emergere alcuni limiti che presenta il modello. Se al modello viene data in ingresso una proprietà marginale (es. “di cristallo”), il modello non restituisce nessuna parola. Invece, con una proprietà saliente, (es. “trasparente”) viene richiamata la parola corretta (“bottiglia”).



Dando in ingresso la proprietà “di plastica”(comune a molti oggetti), non vengono richiamate altre proprietà con cui ha creato delle sinapsi, quindi il modello non evoca nessuna parola.

Dalle simulazioni di compiti di riconoscimento parole otteniamo questi risultati.

Word-form	Features
Oggetto	
Utensili da cucina	125,126,127
Bicchiere	12,13,14,15,16,17,28,125,126,127
Bottiglia	12,13,14,15,16, 125,126,127
Cucchiaino	6,13,27,28,29,30,125,126,127
Forchetta	13,27,28,29,30,37,125,126,127
Pentola	14,24,28,29,44,45, 125,126,127
Bollitore	14,24,28,29,51,52,53,54, 125,126,127
Martello	28,56,57,60,61,63,64,65,66,127

Scopa	5,28,64,67,71,76,77,78,107,115,116, 118,119,120,121,122,123,124,127
Falce	28,81,82,85,86,87,88,89,127
Forbici	22,28,29,81,82,89,91,92,93,94,95, 96,97,98,99,100,101,127
Pennello	5,9,28,64,67,71,77,102,103,104,105, 106,107,108,109,110,111,112,113,115, 116,118,119,120,121,122,123,124,127
Ombrello	5,28,64,67,71,77,107,115,116,118,119, 120,121,122,123,124,127

Tab.6.4: una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico.

Si verificano diversi casi in cui la parola richiama anche proprietà marginali. Per gli oggetti che fanno parte della categoria “utensili da cucina” i risultati sono migliori. Invece, ad oggetti come “scopa”, “forbici”, “pennello” e “ombrello” vengono attribuite anche proprietà di altri oggetti. Soprattutto le caratteristiche dell’“ombrello” vengono attribuite anche a “pennello” e “scopa”.

Queste simulazioni dimostrano il fatto che, andando ad aumentare le caratteristiche degli oggetti e avere oggetti semanticamente vicini (con molte caratteristiche comuni), le cose si complicano e il modello fa fatica a distinguere i diversi oggetti.

CONCLUSIONE

Siamo partiti da un modello di rete neurale in grado di acquisire automaticamente il significato di concetti e categorie, sfruttando la statistica con cui si verificano le diverse proprietà, e in grado di collegare tale significato a forme verbali. In seguito, ci siamo soffermati soprattutto sulla regola di apprendimento, enfatizzando le differenze nei risultati ottenuti con soglia post-sinaptica fissa o variabile, e sulla formazione di categorie tra concetti.

Lo studio su 4 modelli, differenti per la tassonomia, ha fatto emergere limiti che di volta in volta sono stati esaminati e risolti. I primi due modelli (sugli animali) hanno portato dei buoni risultati, ma rappresentano ancora una rete non fisiologica. Con i modelli con tassonomia di oggetti ci siamo avvicinati maggiormente al reale funzionamento della memoria semantica e ad ogni concetto è stato associato un numero diverso di caratteristiche, tenendo fede al database fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia del San Raffaele di Milano. Inoltre abbiamo abbandonato definitivamente l'apprendimento con soglia post-sinaptica fissa, usando invece sempre una soglia variabile. Quest'ultima, essendo in grado di adattarsi automaticamente alla statistica delle proprietà date in input, facilita la distinzione delle parole da evocare e la creazione delle categorie.

Sul secondo modello con gli oggetti c'è ancora molto lavoro da fare per ottenere gli stessi risultati ottenuti dai primi tre modelli. Per l'elevato numero di features con cui è stato addestrato e per la vicinanza semantica dei concetti, il modello, durante le simulazioni di denominazione dei concetti o di riconoscimento delle parole, fa fatica a collegare le giuste proprietà alla parola e viceversa.

È importante riuscire a sviluppare un modello con concetti semanticamente vicini, in quanto può essere utilizzato per simulare molti aspetti: confrontare il priming semantico tra soggetti normali o affetti da patologie (es. fornendo un'eccitazione preliminare ad alcune caratteristiche o ad una parola, poco prima di iniziare il compito di riconoscimento di un concetto); test psicologici come la denominazione di concetti o l'elenco di features; l'effetto di danneggiamento in aree specifiche della rete semantica, per simulare la condizione dei pazienti neurologici con lesioni cerebrali. Al fine di migliorare il nostro modello di memoria semantico – lessicale, sarà necessario intensificare la collaborazione con il Dipartimento di Neuropsicologia dell'ospedale San Raffaele di Milano.

In conclusione possiamo affermare che il modello fornisce buoni risultati, nonostante le difficoltà dovute al numero crescente di features e di concetti con cui viene addestrato.

Tra gli sviluppi futuri si cercherà di creare un set di parametri standard, da poter utilizzare con qualsiasi tipo di tassonomia, e cercare di rendere i modelli con gli animali più “fisiologici”, inserendo tutte le caratteristiche del database.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare il Prof. Mauro Ursino, per la disponibilità e la professionalità dimostratami durante il percorso di tesi. La ringrazio per i preziosi suggerimenti, l'aiuto costante e per avermi consentito di comprendere la bellezza che c'è dietro un lavoro come questo.

Ringrazio la Dott.essa Eleonora Catricalà per la cortesia, la generosità e per il suo prezioso contributo a questo progetto.

Ringrazio i miei genitori per il supporto, emotivo ed economico, e l'incoraggiamento lungo tutto il percorso universitario. Senza il vostro appoggio non ce l'avrei mai fatta. Sono contenta di potervi ripagare almeno con questa soddisfazione.

Grazie a mia sorella per aver condiviso questo percorso e per il continuo confronto/ scontro, so che posso sempre contare su di te.

Grazie a Benedetta ed Alice, inconsapevoli portatrici di felicità.

Grazie a Fabio, per la pazienza di questi giorni, la comprensione, l'aiuto, la fiducia, per i sinonimi e le virgole, per le dritte, per la tua determinazione, perché credi in me, perché ci sei.

Infine ringrazio i miei nonni, i miei parenti, i miei amici...il sostegno di tutti è stato fondamentale!!

BIBLIOGRAFIA

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “An integrated neural model of semantic memory, lexical retrieval and category formation, based on a distributed feature representation.” *Cognitive Neurodynamics*, 5(2):183-207, 2011.

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “The formation of categories and the representation of feature saliency: Analysis with a computational model trained with an Hebbian paradigm.” *Journal of Integrative Neuroscience*, 12(4):401-425, 2013.

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “A Neural Network for Learning the Meaning of Objects and Words from a Featural Representation.” *Neural networks*, 63:234–253,2015.

Montefinese M., Ambrosini E., Fairfield B., Department of Psychological, Humanistic and Territorial Sciences, Department of Neuroscience and Imaging, University of Chieti. “Semantic significance: a new measure of feature salience.” *Mem. Cogn.* (2014) 42:355-369.

Catricala` E., Della Rosa P.A., Ginex V., Mussetti Z., Plebani V., Cappa S.F., Division of Neuroscience, San Raffaele Scientific Institute, Vita-Salute San Raffaele University, Milan, Italy. “An Italian battery for the

assessment of semantic memory disorders.” *Neurological Sciences*, 34(6):985-93,2013.

Cree G.S., McNorgan C., McRae K., University of Western Ontario. “An Attractor Model of Lexical Conceptual Processing: Simulating Semantic Priming.” *Cognitive Science*, 23 (3) 1999, pp. 371±414.

Cree G.S., McNorgan C., McRae K., University of Western Ontario. “Distinctive Features Hold a Privileged Status in the Computation of Word Meaning: Implications for Theories of Semantic Memory.” *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.*, 2006 ; 32(4): 643–658.

Catricalà E., Della Rosa P.A., Plebani V., Perani D., Garrard P., Cappa S.F.. “Semantic feature degradation and naming performance. Evidence from neurodegenerative disorders.” *Brain & Language*, 147 (2015) 58–65.

Martin A., Chao L L., National Institutes of Mental Health, Bethesda, USA. “Semantic memory and the brain:structure and processes.” *Current Opinion in Neurobiology* 2001, 11:194-201.

Binder J.R., Desai R.H., Department of Neurology, Medical College of Wisconsin, USA. “The neurobiology of semantic memory.” *Cognitive Sciences* (2011) 1-10.

Moss, H.E., Tyler, L.K., & Devlin, J.T. (2002). The emergence of category-specific deficits in a distributed semantic system. In: E.M.E. Forde & G.W. Humphreys (Eds.), *Category specificity in brain and mind*. Hove, UK: Psychology Press.